Supplementary summary

DND HQ Pilot Energy Conservation Study

4 July 1985

Supplementary summary

DND HQ Pilot Energy Conservation Study

4 July 1985

©Minister of Supply and Services Canada 1985

Cat. No. W63-11/1985/
ISBN 0-662-54057.3

Supplementary summary — DND HQ Pilot Energy Conservation Study

The preparation of this document was a joint project of

Facilities Maintenance Policy
Property Administration Branch
and
Engineering Technology
Design and Construction Branch
Public Works Canada

Published by Public Relations and Information Services, PWC

Table of contents

1.0 Executive summary **5**

1.1 Project objectives
1.2 Participants
1.3 Methodology
1.4 Results
1.5 Conclusions

2.0 Technical summaries **10**

2.1 The study process — development of the O&M plan brief
.1 Study philosophy and methodology
.2 O&M Plan Development Brief
2.2 Retrofit plan development
.1 Enclosure
.2 Interior environment
.3 Lighting
.4 Vertical transportation
.5 Electrical distribution
.6 Heating and air conditioning
.7 Energy analysis
.8 Recommended retrofit plan
2.3 Energy standards and guidelines

Summation **19**

Bibliography **20**

1.0 EXECUTIVE SUMMARY

1.1 Project objectives

The energy study of the Department of National Defense (DND) Headquarters building was initiated by the National Capital Region who requested that a building be chosen for a full scale Phase II study as a pilot demonstration. The project was intended to illustrate the full potential and implications of such analysis and to determine how closely an energy budget for an existing building could approach those made possible by the best designs for new buildings.

DND HQ, a building connected to the Cliff Street central heating and chilled water system, was chosen for this study. A preliminary study had already been carried out in 1977, resulting in a Phase I study report. The energy consumption level at the commencement of this pilot project — 1981/1982 — had been reduced to 1548 MJ/(m^2·a) [or 39.9 EkWh/(ft^2·year)] from the 1973/74 figure of 2711 MJ/(m^2·a) [or 70 EkWh/(ft^2·year)] through implementation of energy conservation measures. It was felt, however, that this new level could be further decreased by a substantial amount.

The objectives of the study were:

a) to develop a retrofit plan for the building in order to reduce energy consumption while at the same time providing a high level of environmental quality. This objective was to be fulfilled by analyzing the economic and technical feasibility of retrofit, utilizing state-of-the-art measures and techniques to bring the building up to criteria of environmental quality acceptable to the client, and by developing the lowest feasible energy budget that can be achieved for the building as a result of implementing recommended retrofits;

b) to develop, in the process, a practical model for a briefing document describing a methodology to be used for future studies of this kind; and, through the results of the study,

c) to identify requirements for new or updated energy standards within the department.

1.2 Participants

The study was a joint project by regional and HQ Property Administration and Design and Construction Branch personnel, and included a representative from DND. The study was performed under the auspices of a steering committee comprising:

G.W. Baker, HQ PA,
L. Bent, NCR D&C,
G.J. Bowen, HQ D&C, and
E.J. Newman, NCR PA.

Further participants to the project included property management, building operator and occupant representatives, whose roles are described below.

Figure 1: Energy use, DND/HQ

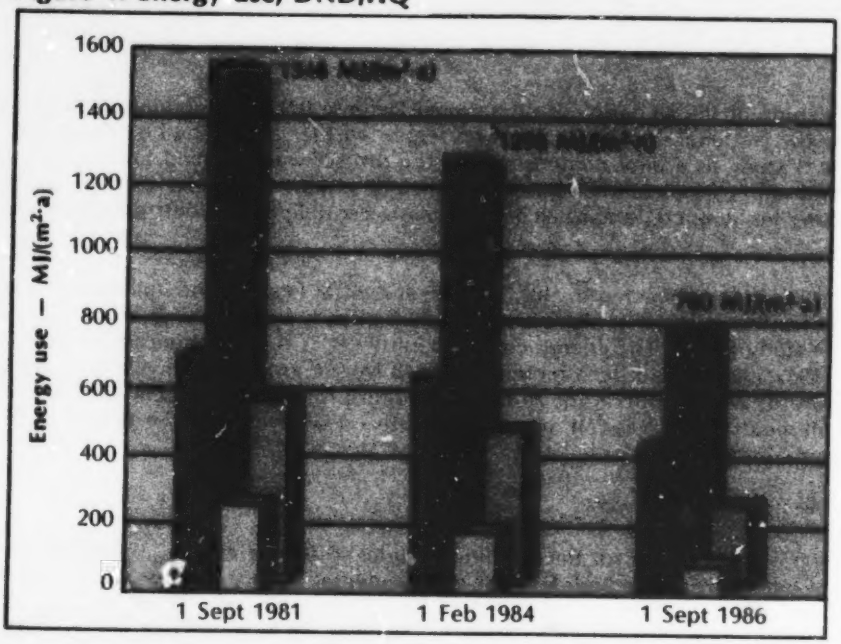
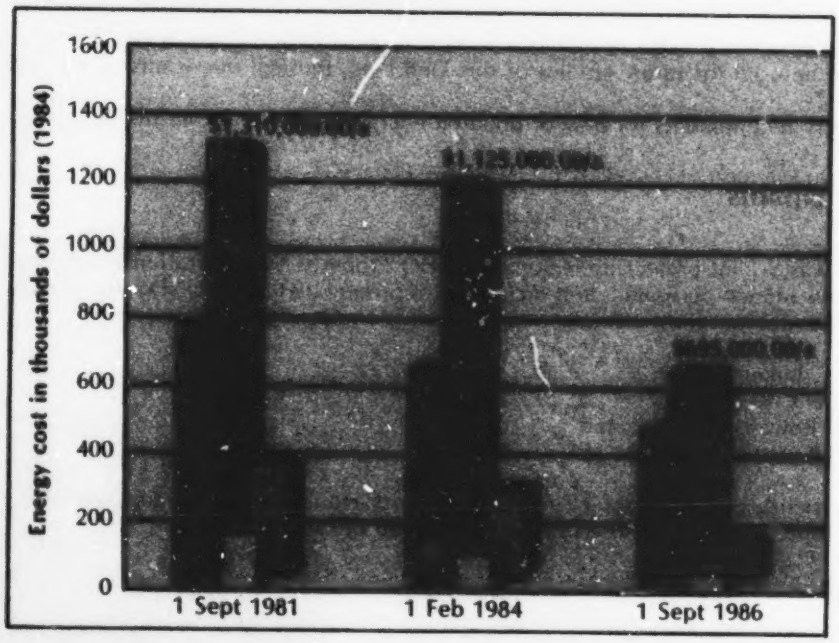
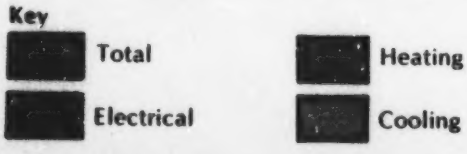


Figure 2: Energy costs, DND/HQ





1.3 Methodology

In order to fulfill the objectives of the pilot project, a sequential series of investigations and tests were undertaken within a context of involvement and participation of occupant, property management and building operator representatives. This was done in order that the confrontation normally seen when unilateral environmental changes are made would be avoided, and also to increase the chance of maintaining improved environmental conditions and energy efficiency once these were obtained. Any changes made were perceived as gradual, had demonstrable benefits and were tabled for discussion before decisions regarding final retrofit were made or implemented.

Through this process, it was confirmed that a more comprehensive study methodology than had been used in the past would be required. Such a methodology would allow the identification of a phased and costed workplan for upgrading the performance of all building systems on an integrated basis, where energy is analyzed concurrently with design, operations, interior environmental quality and special client requirements. By doing so, the study reflects the concept of energy conservation as a continuing process of building energy and operational performance monitoring and analysis that extends through the operating life of the building, rather than a one-time retrofit effort.

1.4 Results

The proposed retrofit plan for DND HQ consists of twenty-eight recommended energy-related items for implementation as a group, and several additional items which will have a more diffuse impact on improving overall system performance and energy efficiency. These recommendations have been summarized in the technical summaries which follow. Details of these recommendations are found in individual reports, forming Appendices G through N of the main report.

The proposed feasible energy target budget to be accrued through implementation of these recommendations is 780 MJ/(m^2·a), representing a total energy consumption of 29% of the 1973/74 level of 2711 MJ/(m^2·a), and a 50% reduction from the level of 1548 MJ/(m^2·a) at the commencement of the study. Figure 1, opposite, illustrates in bar chart form these reductions in both overall (total) and component energy. The capital cost of implementing these recommendations is estimated at $1,887,715.00, and will reduce energy costs by $608,960.00 in the first year. The energy saving, based on simple payback (or return on investment), would provide for capital cost recovery in about three years. This energy efficiency, which can be obtained without compromising accepted standards of environmental quality, is in the range of most (and better than many) budgets for new buildings being constructed today. The energy budget is based on existing client requirements and the implementation of all recommended retrofit, including modified operational procedures and improved monitoring.

DND is proposing fairly massive occupancy and use changes in the building. These changes should be carefully evaluated before retrofit is implemented to ensure that building system changes will adequately accommodate the client's new requirements.

The final product of the methodology development process was embodied in a master project brief, "Guidelines for an O&M Plan Development Study for Existing Buildings," which constitutes Appendix B of the main report, and which is intended for edit to suit specific building study requirements. It is proposed that this new brief supersede the existing Phase I and II energy conservation briefs.

An additional important result of this study has been the development of a prototype monitoring technique, to allow the operator and property manager to assess actual building performance compared with ideal or expected performance based on current load and weather conditions. This proposed technique should allow problems to be identified immediately and appropriate action to be taken. A methodology outline for this technique forms Appendix D of the main report.

1.5 Conclusions

From the experience acquired in this study, it is concluded that further significant energy savings and improvements to the interior environment can be obtained for most buildings. This requires, however, extensive investigation and analysis of the performance and interrelation of all building systems; original systems design in most cases will require change. A high level of engineering expertise is required to identify problems in systems performance and to analyze alternative solutions with associated costs and implementation scheduling. This expertise and these activities are essential in order to foresee and plan for the long-term technical and economic implications of system operation, maintenance and future flexibility to meet client and managements' changing requirements. Involvement by property managers, operators and tenant representatives is needed during both the evaluation and recommendation development processes. Upgraded control and performance monitoring systems will also be needed in most large buildings in order to sustain a high level of systems performance over the long term. Of the various factors to be monitored, the most notable are air quality, thermal comfort and lighting, because of their significant contribution to ensuring client satisfaction. Another important conclusion of the study, especially applicable to new buildings, is the need to greatly improve performance specifications on building enclosures, environmental quality, electrical and mechanical systems components, and strict adherence to improved guidelines for the commissioning process.

Other specific conclusions from the study were:

- that physical plant facilities which originally met tenant requirements may now provide sub-standard performance in meeting current needs. Client-related miscelianeous loads are generally increasing, and present systems cannot cope without major changes. More detailed investigations and analysis are required on total building performance to plan for the correction of all indoor environmental, design and operational problems concurrently with energy-related retrofit. An O&M plan type study, rather than just an energy conservation study, is recommended. The master brief reflects this recommendation;
- that, in carrying out an O&M plan type study where consultants are retained, a less rigid approach to the traditional fee structure is recommended for the greatly increased engineering involvement needed for these projects. If the projects are to be successful, the O&M plan manager must also have considerable additional input on briefings, evaluation, analysis and scheduling during the planning process and on cost control and commissioning during construction;
- that, to assist in quality control of the difficult task of identifying problems and assessing what is right to proceed with and what is not, it is recommended that a committee be established, comprising representatives from regional Property Management, Plant Engineering, Operations and D&C, and headquarters PA and D&C. The committee should meet on a scheduled basis (probably every 6 months) to coordinate analytical approaches, design and operational issues, and to ensure that departmental, in-house expertise is fully utilized in project planning, and for general review and exchange of information. An important responsibility of this committee will be to update the O&M plan master brief and its application criteria, to ensure that the most current technology and approaches are incorporated in the master brief and are used in on-going studies;

- that an occupant prefers to have as much control as possible over his or her immediate working environment. Improved design and greater flexibility are required over lighting, thermal comfort and air quality at the work station;
- that some proposed retrofit for design changes to meet environmental quality standards or client-related requirements will not show a financial payback; these items will, however, still be required for the integrated O&M performance improvement plan program, and should be funded by means other than allocations from energy-related funds;
- that to maintain a building in a tuned-up condition, any future layout or use changes made in zones will necessitate changes to the mechanical/electrical systems as well. Lighting, switching, air distribution, temperature and location of space thermostats contribute a major share to zone problems;
- that hypothetical analysis often suggests potential retrofit items which, when implemented, prove not only to be impracticable, but to create additional problems, and that tests can be beneficial in demonstrating the viability of such options before commitments are made regarding final retrofit; and finally
- that in order to maximize client satisfaction, it is necessary to work within a context of participation at all levels, including that of the occupant, and that environmental changes that are understood, expected, perceived as gradual and of immediate and evident benefit to the occupant are those that have the best chance of being maintained. An education program may be of value in advancing these goals, by increasing the awareness of the interrelationship of energy conservation to interior environmental quality, of energy conservation as an on-going process, and of the occupant's contribution to that process. An important facet of the program should be a shift in emphasis from advocating energy savings to advocate dollar savings. The occupant who is informed that his behaviour constitutes a dollar cost (and is often surprised by its magnitude) is more amenable to changing his behaviour than one who must grasp the abstract sense of a yearly cost in megajoules per square meter.

In conclusion, energy conservation and interior environmental quality are not the results of a one-time retrofit effort; rather, they require a continuing and iterative process of building energy and operational performance monitoring and analysis that extends through the operating life of the building. Their provision requires a comprehensive O&M plan, specifically adapted to each individual building, based on indepth knowledge of the building, its systems, and existing client and management requirements, and whose continuing efficacy depends on its ability to respond to changes in these requirements over the long term.

10

2.0 TECHNICAL SUMMARIES

The DND building has a total gross floor area of 100 191 m^2, and houses some 3200 occupants, in addition to which about 600 visitors enter the building daily. Primary occupancy occurs between the hours of 07:30 and 16:30; exceptions are various operations which occur on a 24 hour basis (utilizing approximately 0.3% staff and 10% space), the majority of which are security and building operation oriented.

Extensive testing and measurements of the enclosure, interior environmental quality and electrical and mechanical systems of the building were completed to determine overall performance. Complete reports, including data analysis, discussions and detailed recommendations are to be found in the appendices to the main report. The technical summaries below represent abbreviated versions of the individual reports; for the purposes of this summary, they have been grouped to reflect the three project objectives.

2.1 The study process — development of the O&M plan brief

2.1.1 Study philosophy and methodology

The approach to the study of DND HQ was in many ways different from other studies of this kind; this was primarily due to the two-fold purpose of the exercise, which was to produce a study methodology applicable to other existing buildings as well as a retrofit plan for the building itself, covering both energy conservation and interior environmental quality. In addition, the level of sensitivity to change in this building, where a previous study had resulted in changes which had allegedly decreased occupant comfort and productivity, was expected to be high. Further to the wide range of physical measurements and tests outlined below, the study approach included a broad range of participation by representatives of property management, operations and tenants, which allowed on-going exchange of information and concerns. In addition to helping avoid the conflict inherent in resistance to change and improving the chances of sustaining the benefits of retrofit, having unusually high involvement of tenant and operational staff yielded benefits such as:

- evaluation of concerns before changes were made, by providing opportunities to work in areas which provided approximately the same environment as would exist after final modifications were made;
- forewarning of proposed changes, allowing perceived effects to be evaluated and benefits made evident;
- highlighting of the technical implications of modifications, allowing alternative or refined measures to be developed where necessary.

The sequential series of investigations and tests performed at DND HQ represented a comprehensive analysis of actual and potential total building performance, including:

- detailed definition of client requirements;
- review of original design and the identification of limitations due to that design;
- review of equipment operation and current operating procedures;
- establishment of existing energy use;
- identification of restraints arising from special client requirements and fixed and unalterable building characteristics;
- determination of the capability of existing systems to meet defined client requirements;
- identification of disadvantages of present systems causing sub-optimal performance in environmental quality, client satisfaction and energy use;

- identification of potential retrofit items and development of associated tests to examine their viability;
- analysis of alternatives and development of detailed recommendations in order that optimum performance in terms of energy use, environmental quality and client satisfaction could be obtained;
- selection of the lowest feasible target energy budget after retrofit is implemented; and
- scheduling and costing of retrofits.

As this was a pilot project, many more retrofit options than would normally be considered were investigated to determine potential benefits. Numerous on-site tests were also performed to confirm suspected design and system inadequacies and to examine the actual results of adjusting or modifying existing equipment and/or operations to compensate for these problems. Further investigations and tests were performed to ensure that theoretical analysis generated proposals whose implementation was practicable.

Details of the philosophy underlying the study are contained in Appendix E of the main report; for additional information on methodology, the reader is referred to each of the individual technical reports, and to the master brief itself, described in the section following.

2.1.2 O&M Plan Development Brief

The final product of the methodology process was a master project brief entitled "Guidelines for an O&M Plan Development Study for Existing Buildings," forming Appendix B of the main report.

The master brief provides guidelines for the preparation of a comprehensive scope of work for the development of individual O&M plans for existing buildings. The scope of this brief takes into consideration and compliments the Facilities Inspection Program (FIP). The guidelines are intended to have national application to all Crown-owned buildings where an O&M plan is required, regardless of size.

An O&M plan identifies sub-standard performances and recommends upgrading needs, priorities and costing information for each building. It is a plan covering total building performance including preventive maintenance, operations, replacement of obsolete or unsatisfactory equipment, design retrofit measures including interior environmental concerns, energy retrofit measures and special client program needs, and with phasing for short- and long-term implementation scheduling and cost estimates. The development of the lowest feasible operating energy budget at which the building would be expected to operate for given conditions after retrofit is also part of the O&M plan. The complete plan integrates and coordinates all proposed changes to physical plant facilities. The plan requires updating at least on an annual basis.

The checklists appended to the master brief are not intended to be all-inclusive for every building, but rather to give direction to the O&M auditor in listing and recording summaries of inefficiencies in environmental quality, design, energy use and operations, and in outlining potential solutions. The checklists will assist in recognizing good and bad performance and in identifying the need for further testing, and are to be used as a tool in the development of an upgrading plan for each building.

The brief is intended for edit by the facilities plant engineer. Editing will amount to tailoring the guidelines to suit building study requirements by additions, deletions or the amendment of existing information, in order to provide a specific scope of work, given time and funds available.

2.2 Retrofit plan development

2.2.1 Enclosure

The enclosure was subjected to a thermographic investigation using aerial and ground infrared surveys. The study was aimed at detecting primary enclosure faults, particularly air leakage, and providing analysis, evaluation and recommendations. Although specific defects were observed, the integrity of the building enclosure was considered, overall, to be better than those of average buildings constructed 12 to 15 years ago. Some defects causing air leakage have been repaired and further evaluations are being conducted by the NCR Core Group.

Detailed analysis and recommendations are contained in Appendix G of the main report.

2.2.2 Interior environment

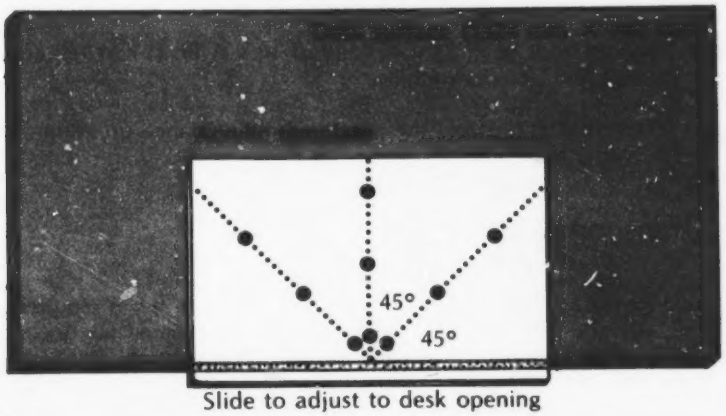
Testing in the form of CO_2 measurements in random areas of the building revealed an excellent interior environment in regards air quality, due to high air circulation rates. Measurements indicated that overall air circulation rates supplied are well in excess of PWC recommended standard levels, or approximately 10 air changes per hour (ACH) (1.25 cfm/ft^2), as opposed to a maximum requirement of 6 ACH (or 0.6 to 0.7 cfm/ft^2). Regarding ventilation rates, air audits indicated that each person in the building receives the equivalent of 20 to 25 L/s (40 - 50 cfm) of fresh air, versus the 2.5 - 10 L/s (5 - 20 cfm) currently recommended in ASHRAE standards (the higher figure relating to areas where smoking is permitted). Although the overall air circulation rates are high and most areas have what appear to be excessive air circulation, there are, nevertheless, other areas where air circulation is deficient.

In order to recheck interior environmental quality subsequent to modifications being implemented, and to assist in the fine-tuning of systems operation, it is recommended that air quality testing be again performed upon completion of retrofit, as part of the final air balancing program.

Detailed analysis and recommendations are contained in Appendix H of the main report.

Figure 3: Carbon dioxide concentrations in interior air, DND HQ, 10 December 1981, ambient outside air concentration of CO_2 = 314 ppm

Figure 4: Grid points for measurement of lighting factors at the individual workstation (visual task area)



2.2.3 Lighting

Light reduction has been mainly carried out by delamping and disconnecting ballasts in fixtures. With the large change-over in spaces and staff relocations over a period of time, the quantity and quality of lighting in several areas has become sub-optimal for current space layouts.

Field measurements of existing lighting and lighting computer programs revealed several opportunities for improvement, each of which was considered for technical and economic feasibility. Lighting changes will require thorough investigation for impact on staff before being implemented.

Lighting consumes approximately 40% of the building electrical energy on an annual basis. The present lighting systems for office areas are using approximately 500 W per person. Some reductions can be made based on changes to the existing fixtures (spaced on 5 ft modules); significant office changes, however, are being planned for implementation in the near future. This presents an opportunity to reduce discomfort glare generally, and especially for video display terminals, to increase task luminance levels, to reduce ambient levels and to provide more flexibility in lighting design and control at a reasonable, incremental cost. The recommended concept is to:

- provide switches in areas where lighting is not needed;
- reduce lighting in areas where work is not being performed;
- use task lights at new work stations with individual switching;
- use existing ceiling fixtures as required to provide general space lighting (disconnecting some fixtures);
- use phantom tubes in other areas;
- upgrade only those existing luminaires which are needed, with energy efficient ballasts, tubes and new lenses as required; and
- install additional general switching and automated lighting control.

The acrylic lenses on existing luminaires have yellowed after 12 years of operation, and their ability to transmit light has deteriorated considerably. Tests carried out for this report showed the efficiency of the luminaires to be only 56%. For areas being remodelled and where general ceiling lighting will apply, the installation of new, high efficiency luminaires (fixtures, lamps and ballasts) may be more effective than up-grading existing equipment.

An illumination system maintenance program should also be considered for this building to assist in the achievement of "in-service" or maintained levels of illumination as stated in PWC standards.

The target is for an average floor peak lighting load of 18.3 W/m^2 (1.7 W/ft^2) and for better control of on-time through additional switching.

Details of analysis, recommendations and the proposed maintenance program are contained in Appendices J and L of the main report.

2.2.4 Vertical transportation

Time and call counts indicated that elevator service exceeded the norm requirements of PWC standards, consistent with the fact that service was originally designed for occupancy levels considerably greater than the population found with DND. The systems installed are only one generation away from present state-of-the-art equipment, and are estimated to use approximately 2.4% of the total annual building electrical consumption. On the basis of these findings, it was concluded that the benefits to be gained by taking elevators out of service or conversion to new systems are so minimal as to be unwarranted.

Details of the analysis of vertical transportation equipment performance and recommendations are found in Appendix K of the main report.

2.2.5 Electrical distribution

Demand electrical loads both for the total building and for each transformer were analyzed to determine if any unusual loads could be cycled to lower the demand. Peak load control was not considered justifiable, since demand loads were fairly consistent year-round.

Monthly and annual profiles for energy consumption and overall power factors were investigated. Power factors were also measured at the main secondary distribution panels, lighting panels and at large motors to determine what corrective action, if required, would be taken.

Yearly consumption rates at the commencement of the study, after minor retrofit and the target rates upon completion of retrofit are presented in Table 1.

There is a very high, continuous load during nights, weekends and holidays, attributed to special tenant requirements such as command centres, electronic spaces and special areas. The consumption rate varies between 26% and 29% of the rate occurring during occupied hours.

The power factors were:

Lighting panels	0.92
Substation distributor panels	0.85 to 0.87
Motors	0.72 to 0.87*
Total building by utility	0.84 to 0.87

(*depending on motor loading and size)

Electrical bills indicated a power factor penalty (below 0.90) of $4 300.00 per year. It is recommended that corrective measures at the larger motors be implemented as required.

Detailed analysis and recommendations regarding electrical distribution are found in Appendices I, J and L of the main report.

Table 1: Electrical energy consumption, DND HQ, for years 1981, 1984 and target for 1986

	Component			Total
	Lighting[1]	Motors[2]	Miscellaneous[3]	
Yearly consumption rate — 1981 (kWh)	7 200 000	7 200 000	3 600 000	18 000 000
(percent of total)	(40.0)	(40.0)	(20.0)	(100)
Yearly consumption rate — 1984 (kWh)	7 200 000	5 820 000[4]	3 600 000	16 620 000
(percent of total)	(43.3)	(35.0)	(21.7)	(100)
Target yearly consumption rate — 1986 (kWh) (retrofit complete)	4 697 400	4 019 500	2 287 600	11 004 500
(percent of total)	(42.7)	(36.5)	(20.8)	(100)
Percent kWh reduction from 1981 to 1986, resulting from retrofit	34.8	44.2	36.5	38.9

[1] Lighting represents all office lighting and ancillary uses except those listed under Miscellaneous
[2] Motors represent all motors on HVAC equipment and pumps, excluding special units
[3] Miscellaneous represents elevators, cafeteria, emergency lights, floor and wall plugs, escalator, electrical room fans, special air conditioning equipment located throughout the building, printing bureau equipment and other consumers of electrical energy of minor significance
[4] Note that electrical savings have been attributed mostly to a reduction in fan power due to improvements to ductwork which have allowed a reduction in fan speeds for the six larger HVAC systems

2.2.6 Heating and air conditioning

The mechanical systems are currently well maintained, and are generally of dual duct design. They operate by simultaneously providing hot and cold air to mixing boxes which are controlled by room thermostats to achieve the desired temperature that satisfies space requirements. Despite the nature of the design, with its inherent energy inefficiencies, these systems can provide fairly good environmental control, but at (in today's terms) an unacceptably high energy cost.

Analysis of the mechanical systems revealed sub-optimal conditions such as:

- excessive energy waste occurring due to mixing hot and cold air at all times, and exacerbated by high air volumes being supplied to zones at times when it is not required;
- lack of a separate perimeter radiation system above the 4th floor, meaning that some fans are operated at full speed, 24 hours per day, during most of the heating season, supplying large quantities of air during unoccupied periods throughout the building, rather than supplying only sufficient air to service essential areas and to accommodate transmission loads;
- high dynamic losses occurring in the large, unducted air plenums;
- operational efficiencies which might otherwise be obtained are limited by client requirements, including the relatively high number of special areas, the demand for longer operating schedules for much of the equipment due to the spread of operations into the quiet hours, and the necessity of satisfying space conditions in the total serviced area of each individual system when only a fraction of that area requires servicing;
- complaints of discomfort in several perimeter areas of the building: south perimeter areas being too hot, and north perimeter areas and corner offices cold on occasion;
- inefficiencies of parts of systems in their operation, causing waste of fan energy because of higher static pressures being maintained to overcome restrictions due to inadequate duct sizing;
- inability of controls to regulate heating and cooling at partial loads, and drastic fluctuations in deck temperatures over relatively short periods of time. This type of system has both hot and cold air supplies available at most times, and any deficiencies in the systems from a control point of view tend to be smoothed out, but at a cost of increased energy waste;

- wide variances in temperature between building areas after shut-down periods. Fans are operated continuously or for longer start-up periods to overcome this problem;
- problems related to air distribution patterns. Actual delivered air quantities vary in a wide range from excessive in most areas to deficient in others; and
- elevator and other service areas on each floor are served with direct ducted, conditioned air from the central air systems instead of the usual practice of exhausting used air from interior spaces through these areas. The quantity of conditioned air used for this purpose is in the order of 36 700 L/s (77 000 cfm).

In order to reduce energy waste and maintain environmental quality, it has been recommended that selective ductwork changes in shafts and ceiling spaces be made, and that fans, heating and cooling coils, damper systems and plenums be modified. Air quantities and temperatures will be varied as much as possible in accordance with need. Better control is recommended for the HVAC systems in the form of a new, programmable, distributed electronic control system, and a central computer for energy management to provide more consistently responsive and accurate control, and to monitor systems performance on a continuing basis. Separate HVAC systems will be installed locally for special client requirements so that the larger central systems can be shut down during normal unoccupied hours.

Details of analysis and recommendations are contained in Appendix M of the main report.

2.2.7 Energy analysis

Thermodynamic modelling and computer simulation of the annual performance of the building and its systems was carried out to analyze proposed retrofits and to compare the technical effects of alternatives in terms of energy use and impact on indoor environmental quality. The dynamic energy analysis program also quantified energy usage, which provided an economic appraisal of the rate of payback on capital investment from operating savings. The computed energy budget for the DND HQ building after retrofit is:

Heating	262 MJ/(m^2·a)
Cooling	82 MJ/(m^2·a)
Electrical	369 MJ/(m^2·a)
Total minimum budget	740 MJ/(m^2·a)

This minimum budget is based on the premise that the benefits of all retrofit will be fully realized, which is considered to be unlikely in an existing building: a margin of 40 MJ/(m^2·a), representing a 5% loss in the total potential savings [808 MJ/(m^2·a)] has been added, for a final energy budget of 780 MJ/(m^2·a). This budget is considered realistic and feasible for this building, based on existing requirements and after recommended retrofit is complete.

Details of the energy analysis are contained in Appendix N of the main report.

2.2.8 Recommended retrofit plan

Numerous retrofit options were evaluated, resulting in the final retrofit plan outlined in Table 2, following.

In summary, the recommended retrofit measures constitute the following major modifications:

a) the conversion to variable air volume of HVAC systems which serve central areas of the building used for office or similar purposes, in order to supply only the necessary quantities of conditioned air to each area;

b) the modification of perimeter duct systems to restrict operation to heating during cold weather and cooling during warm weather. Provision will be made for circulation of blended hot and cold air as required during spring and fall;

c) the installation of a fully automated, direct digital control system, following review of the pilot installation;

d) changes to lighting in most areas of the building, including additional switching and the increased use of task lighting; and

e) numerous other improvements, including tightening the building envelope, correcting HVAC system inadequacies and reducing or eliminating energy waste in special areas.

These modifications can be implemented in most cases with only minor disruption to the operation of the building; close liaison will be required, however, to minimize the impact on client activities.

Table 2 lists the thirty-six retrofit measures that are recommended, broken into four groups. Group I retrofit items are energy-related, and are themselves interrelated. For this reason, and because obtaining the full benefits is contingent on their being implemented as a whole, it is therefore recommended that this strategy be followed. The single group II item has a payback identified as a cost saving from avoidance of a utility penalty. Group III items are considered to be design and client-related, and have a more diffuse payback. Their implementation will improve overall performance and environmental conditions. Group IV items will provide operational flexibility.

The retrofit measures include a number of pilot or test installations, the primary of which are direct digital controls on converted HVAC system #1, and the installation of light switching and lighting changes on the 8th floor centre block, for which separate evaluations are being prepared. These projects have been considered successful. The benefits are not confined to energy savings; the retrofit strategy has been shown to be of value in enhancing building comfort and providing maintenance benefits.

Table 2: Recommended retrofit measures, DND HQ

Retrofit item, Group I	Total estimated cost
A Items complete as of June 1985	
1. Converting dual duct systems to single duct systems in centre core of the building	$ 60,000.00
2. Reducing fan speeds for systems #1, 3, 5, 7, 9 and 10	$ 10,000.00
3. Modifying air distribution in systems #1, 3, 5, 7, 9 and 10, including reconnecting some duct runs from system #8 to system #7	$ 35,000.00*
4. Installing change-over dampers for perimeter ductwork for systems #1, 3, 5, 7, 9 and 10	$ 30,000.00
5. Upgrading and overhauling mixing boxes	$ 50,000.00
6. Installing new phantom tubes in all lounges	$ 2,500.00
7. Adjusting lighting arrangements for 5th floor gymnasium	$ 1,200.00
8. Installing switching in mechanical, storage and elevator rooms and 4th and 20th floor workshops and phantom tubes in the freight elevator lobbies and stairwells	$ 16,529.00
9. Adjusting lighting and installing phantom tubes on 8th floor, centre block	$ 7,136.00
10. Installing local switches and automatic control for lighting on 8th floor, centre block	$ 40,000.00
11. Adjusting lighting and switches in library	$ 10,000.00*
B Items recommended for immediate implementation	
12. Modifying present emergency HVAC systems serving security operations and computer rooms to permit shut-down of central system #5	$ 65,000.00
13. Installing new HVAC unit for Military Police area, level 1, to permit shut-down of central system #1	$ 8,000.00
14. Completing the installation of computer-based electronic monitoring and control systems with individual, remote, programmable microprocessors to control systems #2 to 10 inclusive, as well as local units to regulate change-over dampers in perimeter ductwork (system #1 complete)	$ 430,000.00*
C Items recommended for implementation	
15. Modifying heating coils, control valves and their operators in systems #1, 3, 5, 7, 9 and 10	$ 74,500.00*
16. Upgrading leaking fresh air dampers for systems #1 to 10 inclusive	$ 25,000.00*
17. Blanking-off supply air to mechanical and electrical rooms, 4th and 20th floors	$ 600.00
18. Recalibrating space thermometers throughout, and relocating to suit areas under control	$ 10,850.00
19. Installing additional phantom tubes, new lenses, ballasts, etc., and in some case new fixtures for other general lighting areas	$ 45,000.00*
20. Installing additional switching and automatic control for total building lighting system	$ 320,000.00
21. Re-insulating larger steam and domestic hot water pipes in accessible areas	$ 35,000.00
22. Modifying central HVAC system plenums to improve performance	$ 100,000.00*
23. Installing new HVAC unit to 13th floor north tower to permit shut-down of central system #9	$ 18,000.00
24. Reducing exhaust air quantities and rebalancing air system in cafeteria	$ 4,000.00
25. Increasing supply air to Engineer's control area on level 4	$ 1,700.00
26. Balancing air and water systems including further fan speed changes and final fine-tuning of zone distribution	$ 100,000.00
27. Installing energy efficient shower heads in 5th floor gymnasium	$ 400.00
28. Modifying controls for ramp glycol system	$ 2,300.00
Subtotal, Group I	**$1,502,715.00**
Retrofit item, Group II (complete as of June 1985)	
29. Correcting power factors	$ 20,000.00
Subtotal, Group II	**$ 20,000.00**
Retrofit item, Group III	
30. Modifying HVAC system serving the Postal area, level 1	$ 7,500.00
31. Modifying ductwork serving the basement vault area	$ 5,000.00
32. Correcting air leakage problems through building envelope	$ 40,000.00
33. Modifying main concourse area	$ 40,000.00
34. Modifying HVAC systems serving the printing area and level 3 concourse to permit shut-down of central system #6	$ 37,500.00
Subtotal, Group III	**$ 130,000.00**

Table 2: continued

Retrofit item, Group IV (further study recommended)	
35. Installing 2-speed motors for fans in systems #1, 3, 5 and 7 (system #1 to be done first and tested prior to sequentially doing the remaining systems)	$ 77,800.00*
36. Modifying chilled water pumps	$ 7,200.00
Subtotal, Group IV	**$ 85,000.00**
Subtotal, Groups I to IV	$1,737,715.00
Consultant fees and commissioning	$ 150,000.00
Total retrofit cost	**$1,887,715.00**

*pilot study area

Table 3: Energy cost avoidance and payback on recommended retrofit measures, DND HQ

	Group I	Group II	Group III	Group IV[1]	Totals
Capital cost	$1,502,715	$20,000	$130,000	$85,000	$1,887,715[2]
Average interest rate (%)	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0
Fuel savings, first year	$ 415,822	—	$ 16,972	—	$ 432,795
Fuel escalation rate (%)	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
Electrical savings, first year	$ 286,313	$ 4,300	$ 17,674	—	$ 303,987
Electricity escalation rate (%)	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
Maintenance/other savings or extras, if any	-0-	-0-	-0-	-0-	-0-
Cost recovery period (to nearest 0.001 years)	2.391		4.227		2.869

[1]Savings cannot be calculated until pilot studies are complete
[2]Figure includes fees and commissioning

2.3 Energy standards and guidelines, PWC

Departmental standards, guidelines and procedures which have been developed and are being used by PWC for energy efficient design of new and retrofit buildings were reviewed. Based on buildings similar in use to DND HQ, the need for refining or updating these existing documents and for developing new standards for energy efficiency in both new and existing buildings was identified.

It was concluded that, where possible, new PWC standards on energy efficiency should be of the performance type, and should include not only standards of quality, but a method of testing for adherance to the specified level of quality. Tests are also required for defining building, systems and component performance; for each of these, a specific test procedure must be prepared.

Identified requirements and recommendations for new or updated standards are listed in Appendix F of the main report.

SUMMATION

This document has attempted to summarize the approach, methodology, results and underlying philosophy of the pilot energy conservation study of DND HQ. Although time-consuming, the study ultimately paid for itself through energy (dollar) savings in the course of the study, and through the development of a methodology applicable to other existing buildings, regardless of size or complexity. Many additional benefits and insights were accrued in the process, which will contribute to the further refinement of study techniques in the future. Further, it represents a change in direction for energy analysis: from energy studies towards total building analysis, where energy is an integral part of the total analysis.

For those interested, additional information on building analysis and many of its individual aspects can be found in references forming the bibliography, following.

20

BIBLIOGRAPHY

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. "Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality;" ASHRAE Standard 62-1981. Atlanta, 1981.

Barber-Colman Company. "Designing for Energy Conservation: A Treatise on Variable Air Volume Systems;" F-15817 Br. Rockford, 1975. (Available from Barber-Colman Co., 1300 Rock Street, Rockford, Illinois, USA 61101.)

Becker, H.P. and Baker, M. "Energy Conservation Analysis of Pumping Systems." ASHRAE Journal, vol. 16.6 (1974): 658-669.

Bergland, T.G. "Thermal Acceptability;" DE-79-9, No. 4, ASHRAE Transactions, vol. 85.2 (1979): 825-834.

Black, A.W. "A Heretical View of Energy Programs or Is Bigger Really Better?" HA-M—1, ASHRAE Transactions, vol. 83.2 (1977): 300-311.

Brown, R.J. "Energy Economics: Caveat Emptor." Heating/Piping/Air Conditioning, vol. 54.9 (September 1982): 95-97.

Carlton-Ross, J.A. "Energy Engineering for Occupied Places." ASHRAE Journal, vol. 24.10 (October 1982): 35-39.

Cho, A.I. and Ali, A. "Efficient Systems for After Hours Office Cooling." Heating/Piping/Air Conditioning, vol. 48.3 (March 1976): 57-59.

Cooper, K.W. "Energy Conservation and an Energy Budget: What is ASHRAE Doing?" ASHRAE Journal, vol. 17.8 (August 1975): 55-58.

Cox, P.M. et al. "The Effects of Light on Health: A Review and Assessment." A report prepared for the Bureau of Human Ecology, Department of Health and Welfare (Canada), by William Lam Associates, Cambridge, Mass., March 1976.

Crall, G.C. et al. "A Computer Simulation and Validation of a Building Heating, Ventilating and Air Conditioning System;" No. 2361, RP-66-OS, ASHRAE Transactions, vol. 81.1 (1975): 506-518.

Cuplinskas, E.I. "Thermal Response Calculations by the Finite Differences Method;" No. 2457, ASHRAE Transactions, vol. 83.2 (1977): 118-131.

Davidge, R.O.C. and Everett, P.E. "'Stack Effect' Tracer Gas Air Leakage Test (Test #2): Calgary Government of Canada Building — March 17, 1983." Harry Hayes Building Report, vol. 12, "Air Leakage," Public Works Canada, Architectural and Building Sciences Division, Ottawa, 1984.

Dynamics Corporation of America. "Anemostat Helps You Cut Energy Costs with VAV Retrofit." Product catalogue #76 VR, available from Anemostat Products Division, Dynamics Corp. of America, 888 North Keyser Avenue, Scranton Pennsylvania, USA 18501.

Field, A.A. "Wind Action on Tall Buildings." Heating/Piping/Air Conditioning, vol. 42.5 (May 1970): 113-116.

Fleming, W.S. "Energy Conservation: An Investigation of the Thermal Comfort Alternative;" DE-79-9, No. 3, ASHRAE Transactions, vol. 85.2 (1979): 813-824.

Gatley, D.P. "Studies in Energy Management: A Big Hotel Gets a Big Energy Management Retrofit with a Big ROI." Heating/Piping/Air Conditioning, vol. 53.9 (September 1981): 91-100.

Greenburg, A. "Energy Accounting systems." ASHRAE Journal, vol. 22.1 (January 1980): 53-56.

Guntermann, A.E. "Component Approach to Energy Budgets." Heating/Piping/Air Conditioning, vol. 52.5 (May 1980): 63-69.

Hill, J.E. and Kusuda, T. "Dynamic Characteristics of Air Infiltration;" No. 2337, ASHRAE Transactions, vol. 81.1 (1975): 168-185.

Honeywell Incorporated. "Variable Air Volume Systems Manual." No. 74-5461, 1976. Available from Honeywell Inc., 740 Ellesmere Road, Scarborough, Ontario, M1P 2V9, at $2.00.

Hunt, C.M. and Burch, D.M. "Air Infiltration Measurements in a Four-bedroom Townhouse Using Sulfur Hexafluoride as a Tracer Gas;" No. 2338, ASHRAE Transactions, vol. 81.1 (1975): 186-201.

Inone, U. and Matsumoto, T. "A Study on Energy Savings with Variable Air Volume Systems by Simulation and Field Measurements." Energy and Buildings, vol. 2.1 (1979): 27-36.

Janisse, N.J. "A Low-calorie Energy Diet for Your Building," ASHRAE Transactions, vol. 81.2 (1975): 362-370.

Kent, H.S. "Engineering Building Designed with Heat Reclaim in Mind." Heating/Piping/Air Conditioning, vol. 42.11 (November 1970): 79-82.

Keyes, M.W. "Analysis and Rating of Drapery Materials Used for Indoor Shading;" No. 2040, ASHRAE Transactions, vol. 73.1 (1967): VII.4.1-.15

Klassen, J. "Thermal Comfort in the Name of Energy Conservation;" DE-79-9, No. 2, ASHRAE Transactions, vol. 85.2 (1979): 809-812.

Kusuda, T. "A Comparison of Energy Calculation Procedures." ASHRAE Journal, vol. 23.8 (August 1981): 21-24.

Levine, A.Z. "The Mysterious Behaviour of Multi-zones and Double Ducts." ASHRAE Transactions, vol. 81.2 (1975): 371-386.

Liptak, B.G. "Reducing the Operating Costs of Buildings by the Use of Computers;" CH 77-2, ASHRAE Transactions, vol. 83.1 (1977): 343-360.

Lowenhaupt Collins, B. "Evaluation of Human Response to Building Fenestration;" HA-77-4, No. 1, ASHRAE Transactions, vol. 83.2 (1977): 405-420.

McBride, M.F. et al. "Field Validation Test of the Hourly Load Program Developed from the ASHRAE Algorithms;" No. 2360, RP-66-OS, ASHRAE Transactions, vol. 81.1 (1975): 484-505.

Manian, V.S. "Electric Energy Monitoring Device for Conservation Studies." Heating/Piping/Air Conditioning, vol 49.10 (October 1977): 115-117.

Matsuura, K. "Turning Off Line in Perimeter Areas for Saving Lighting Energy in Side-lit Office." Energy and Buildings, vol. 2.1 (January 1979): 19-26.

Mikhail, S. "Efficient Energy Utilization in Federal Buildings." Paper presented to the 1974 Conference of Ministers/Deputy Ministers of Public Works/Government Services/Supply and Services (Canada). Public Works Canada, September, 1974.

Miller, P.L. "Room Air Diffusion Systems: A Re-evaluation of Design Data; No. 2552, RP-217, ASHRAE Transactions, vol. 85.2 (1979): 375-384.

22

Moore, G.L. and Pennington, C.W. "Measurement and Application of Solar Properties of Drapery Shading Materials;" No. 2039, ASHRAE Transactions, vol. 73.1 (1967): VIII.3.1-.15.

National Concrete Masonry Association. "The 'M' Factor: The Use of Mass to Save Energy in the Heating and Cooling of Buildings." Virginia, 1976.

National Concrete Masonry Association. "A Comparison of Very Light Walls of Wood, Metal and Glass versus Concrete Masonry in Energy Conservation." Virginia, 1976.

(Both the above are available from the National Concrete Masonry Association, 6848 Elm Street, Suite #711, McLean, Virginia, USA 22101.)

Olivieri, J.B. "Energy Conservation and Comfort — Are They Compatible?" DE-79-9, No. 1, ASHRAE Transactions, vol. 85.2 (1979): 799-808.

Patterson, N.R. "Energy Performance for New Buildings." ASHRAE Journal, vol. 22.1 (January 1980): 51-52.

Rodkiewicz, C.M. and Hsieh, T.Y. "On the Behavior of High Velocity Air in Cylindrical Branch Take-offs;" No. 2373, ASHRAE Transactions, vol. 81.2 (1975): 213-220.

Rudoy, W. and Robins, L.M. "Pulldown Load Calculations and Thermal Storage during Temperature Drift;" No. 2432, RP 152, ASHRAE Transactions, vol. 83.1 (1977): 51-63.

Schoenberger, P.K. "Energy Saving Techniques for Existing Buildings." Heating/Piping/Air Conditioning, vol. 47.1 (January 1975): 98-105.

Seth, D.S. and Laszlo, G.P. "Energy Conservation Study: Atmospheric Environment Services Building." Technical Note Series No. 48, Travaux publics Canada, 1977.

Shaw, C.Y. "A Method for Predicting Air Infiltration Rates for a Tall Building Surrounded by Lower Structures of Uniform Height;" (NCR-DBR Paper No. 890), No. 2514, ASHRAE Transactions, vol. 85.1 (1979): 72-84.

Shaw, C.Y. "Methods for Conducting Small-scale Pressurization Tests and Air Leakage Data of Multi-storey Apartment Buildings;" No. 2570, ASHRAE Transactions, vol. 81.2 (1975): 241-250.

Shaw, C.Y. "Wind and Temperature Induced Pressure Differentials and an Equivalent Pressure Difference Model for Predicting Air Infiltration in Schools;" No. 2573, ASHRAE Transactions, vol. 81.2 (1975): 268-279.

Shaw, C.Y., Sander, D.M. and Tamura, G.T. "Air Leakage Measurements of the Exterior Walls of Tall Buildings;" (NRC-DBR Paper No. 601), No. 2280, ASHRAE Transactions, vol. 79.2 (1973): 40-48.

Shaw, C.Y. and Tamura, G.T. "The calculation of Air Infiltration Rates Caused by Wind and Stack Action for Tall Buildings;" (NRC-DBR Pater no. 761), No. 2459, ASHRAE Transactions, vol. 83.2 (1977): 145-158.

Spielvogel, L.G. "Comparisons of Energy Analysis Computer Programs;" HA-77-1, No. 1, ASHRAE Transactions, vol. 83.2 (1977): 293-299.

Spielvogel, L.G. "Energy Performance Data." ASHRAE Journal, vol. 22.1 (January 1980): 46-50.

Spielvogel, L.G. "Office Building Energy Use." ASHRAE Journal, vol. 24.11 (November 1982): 25-31.

Stricker, S. "Measurement of Air-tightness of Houses;" No. 2336, ASHRAE Transactions, vol. 81.1 (1975): 148-167.

Stubblefield, R.R. "Energy Conservation in Commercial Buildings." Heating/Piping/Air Conditioning, vol. 46.6 (June 1974): 50-55.

Sun, T.Y. "Computerized Shadow and Solar Load Evaluations." Heating/Piping/Air Conditioning, vol. . . . (July 1981): 47-51.

Tamblyn, R.T. "Thermal Storage Applications: Thermal Energy Storage Problems in Design and Application and Some Suggested Antidotes." Heating/Piping/Air Conditioning, vol. 54.1 (January 1982): 59-71.

Tamura, G.T. "Measurement of Air Leakage Characteristics of House Enclosures;" No. 2339, ASHRAE Transactions, vol. 81.1 (1975): 202-211.

Timmons, M.B. et al. "Experimental and Numerical Study of Air Movement in Slot-ventilated Enclosures;" No. 2569, ASHRAE Transactions, vol. 86.1 (1980): 221-240.

Turner, L.B. "Total Pressure as a Design Tool." Heating/Piping/Air Conditioning, vol. 50.8 (August 1978): 89-91.

Vincent, J. "College Park: Energy Conservation Equals Lower Operating Costs." Energy Management Canada (September-October 1983): 10-11.

Wiss, J.W. "Financing Energy Efficient Improvements." Heating/Piping/Air Conditioning, vol. 54.9 (September 1982): 65-73.

Resume supplementaire

Étude pilote de conservation de l'énergie QG MDN

4 juillet 1985

Canada

Résumé supplémentaire

Étude pilote de conservation de l'énergie QG/MDN

4 juillet 1985

©Ministre des Approvisionnements et Services Canada, 1985

N° de catalogue W63-11/1985/
ISBN 0-662-54057-3

Résumé supplémentaire — Étude pilote de conservation de l'énergie QG/MDN

La préparation de ce document était un projet conjoint de

Politique, entretien des installations
Direction générale de l'administration immobilière
et
Technologie du génie
Direction de design et construction
Travaux publics Canada

Publié par le Service des relations publiques et de l'information, T.P.C.

Table des matières

1.0 Résumé pour la Direction 5

1.1 Objectifs du projet
1.2 Participants
1.3 Méthodologie
1.4 Résultats
1.5 Conclusions

2.0 Résumés techniques 10

2.1 Méthode de l'étude — développement du plan résumé FE
.1 Principes et méthodologie
.2 Élaboration du plan
2.2 Élaboration du plan d'améliorations
.1 Enveloppe
.2 Environnement intérieur
.3 Éclairage
.4 Transport vertical
.5 Distribution de l'électricité
.6 Chauffage et air climatisé
.7 Analyse du bilan énergétique
.8 Plan d'améliorations recommandé
2.3 Normes sur l'énergie et recommandations

Résumé 19

Bibliographie 20

1.0 RÉSUMÉ POUR LA DIRECTION

1.1 Objectifs du projet

L'étude de la consommation d'énergie du quartier général de la Défense nationale (MDN) a été effectuée à l'initiative de la région de la Capitale nationale qui a expressément demandé qu'un bâtiment soit choisi pour servir de projet pilote d'une étude en vraie grandeur de Phase II. Le projet avait pour but de mettre en évidence les implications de cette analyse et de déterminer comment le bilan énergétique d'un bâtiment existant pouvait être amélioré en tenant compte des conceptions les plus modernes.

C'est le bâtiment du QG du MDN qui est desservi par la centrale de chauffage et d'air climatisé de la rue Cliff qui a été retenu pour cette étude. Une étude préliminaire avait déjà été effectuée en 1977; elle avait fait l'objet d'un rapport de Phase I. La consommation d'énergie au début de ce projet pilote (1981/1982) avait été réduite de 2711 MJ/(m^2·a) [ou 70 EkWh/(pi^2·a)] pour 1973/1974 à 1548 MJ/(m^2·a) [ou 39.9 EkWh/(pi^2·a)] à la suite de l'application de mesures d'économie d'énergie. On pensait cependant que ce niveau pouvait être encore abaissé.

Les objectifs de l'étude étaient les suivants :

a) élaborer un plan d'améliorations du bâtiment visant à réduire la consommation d'énergie tout en fournissant une qualité élevée de l'environnement intérieur. Cet objectif consistait à analyser au point de vue économique et technique les possibilités d'amélioration en se servant de mesures et des techniques modernes permettant de maintenir des critères de qualité de l'environnement acceptables pour le client et en établissant un budget de l'énergie réaliste et le plus bas possible pour ce type de bâtiment grâce aux améliorations apportées;

b) développer un modèle pratique sous forme de document d'information décrivant les méthodes employées pour servir aux futures études de ce genre; et au moyen des résultats de l'étude,

c) identifier les besoins de nouvelles normes ou de mises à jour des normes à l'intérieur du ministère.

1.2 Participants

L'étude est un projet conjoint entrepris à la fois par l'administration régionale et l'administration du QG ainsi que par le personnel de conception et de construction et un représentant de MDN. Elle a été réalisée sous les auspices d'un comité directeur comprenant :

G.W. Baker, QG AI,
L. Bent, RCN D&C,
G.J. Bowen, QG D&C, et
E.J. Newman, RCN AI.

Participaient également au projet des représentants de l'administration immobilière, du personnel d'exploitation du bâtiment et des représentants des occupants dont les rôles respectifs sont décrits ci-après

Figure 1 : Consommation d'énergie, QG/MDN

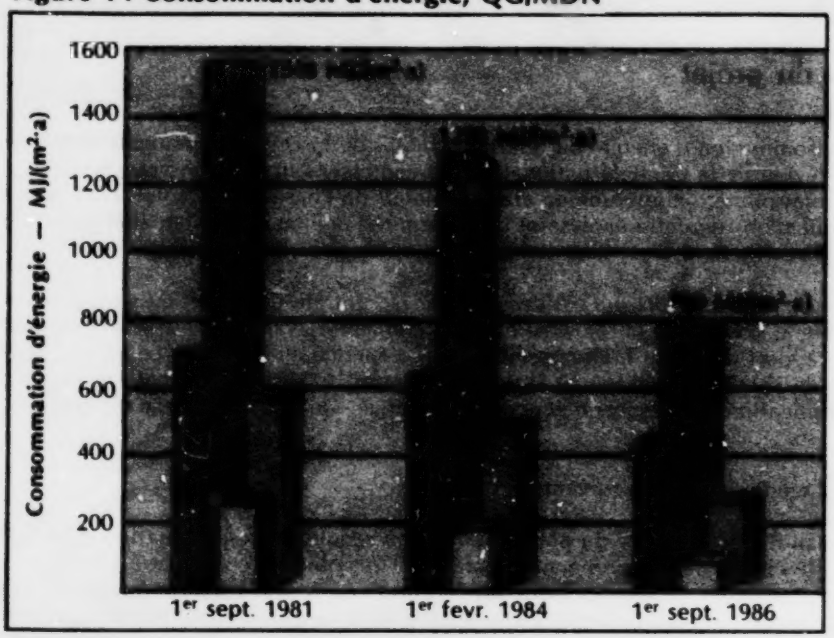
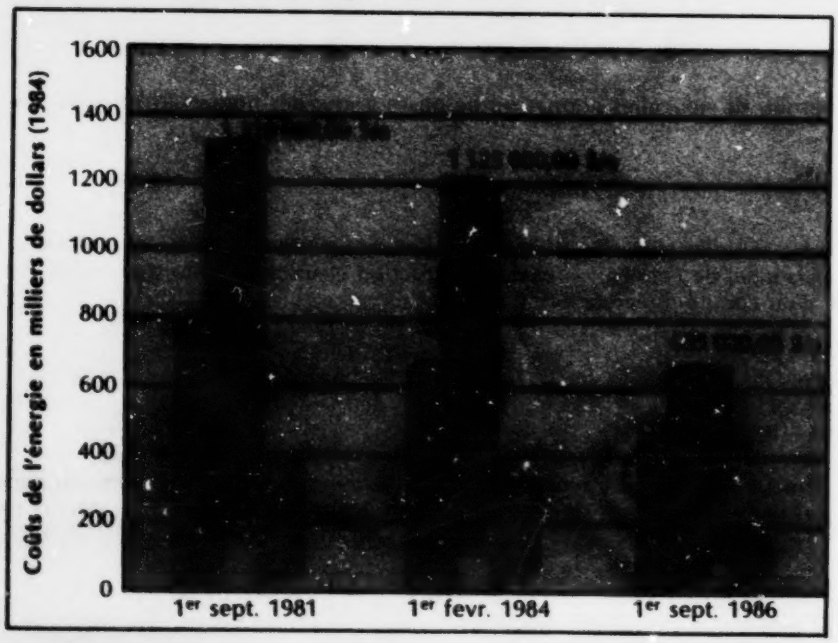
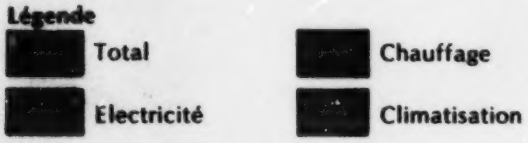


Figure 2 : Coûts de l'énergie, QG/MDN





1.3 Méthodologie

Afin d'atteindre les objectifs du projet pilote, une série de relevés et d'essais ont été entrepris en tenant compte du contexte et avec la participation des occupants du bâtiment, de l'administration immobilière et des représentants du personnel d'exploitation. On a voulu ainsi éviter les confrontations qui résultent en général des modifications apportées de façon unilatérale tout en améliorant la qualité de l'environnement et le bilan énergétique. Toutes les améliorations réalisées ont été ressenties comme graduelles par les occupants et ont apporté des bénéfices tangibles. De plus les améliorations ont fait l'objet de discussions avant d'être mises en oeuvre.

Par ce moyen on a pu confirmer qu'une méthode d'étude plus globale que celle qui avait été utilisée serait nécessaire. Une telle méthode devrait conduire à l'élaboration d'un plan par étapes avec des coûts précis pour les améliorations des installations du bâtiment visant un rendement global meilleur en analysant la consommation d'énergie ainsi que la conception, le fonctionnement, la qualité de l'environnement intérieur et les exigences spéciales du client. En procédant ainsi, l'étude conçoit l'économie d'énergie comme un processus permanent d'enregistrement et d'analyse de la consommation d'énergie du bâtiment et de son fonctionnement au cours des années de service du bâtiment plutôt que sous la forme d'une opération ponctuelle d'amélioration.

1.4 Résultats

Le plan d'améliorations proposé pour le QG du MDN recommande vingt-huit améliorations portant sur l'énergie qui doivent être mises en oeuvre ensemble et plusieurs autres qui doivent avoir un impact plus diffus sur le rendement énergétique global. Ces recommandations sont présentées dans les résumés techniques qui suivent et les détails se trouvent dans chacun des rapports et aux annexes G à N du rapport principal.

Le bilan énergétique visé par la mise en oeuvre de ces recommandations, était de 780 MJ/(m^2·a), soit 29 % de la consommation totale d'énergie de 1973/1974 [2711 MJ/(m^2·a)], et 50 % de moins que la consommation au début de l'étude [1548 MJ/(m^2·a)]. La Figure 1 illustre par des graphiques ces réductions de la consommation d'énergie. Le coût de ces mesures a été estimé à environ $1,887,715.00 et la facture de l'énergie sera réduite de $608,960.00 dès la première année. L'économie réalisée par amortissement simple de l'investissement permettra un remboursement du capital sur environ trois ans. Ce haut rendement énergétique peut être obtenu sans nuire aux normes de qualité de l'environnement. On peut l'atteindre dans la plupart des nouveaux bâtiments en construction aujourd'hui. Le bilan énergétique dépend des exigences du client et de la mise en oeuvre de toutes les améliorations recommandées, y compris des modifications apportées au fonctionnement et à l'amélioration de l'enregistrement des données de consommation.

Le MDN propose des changements majeurs d'occupation et d'usage du bâtiment. Ces changements devraient être soigneusement étudiés avant de mettre en oeuvre les améliorations pour s'assurer que les modifications apportées aux installations techniques conviendront aux nouvelles exigences du client.

Le processus d'élaboration d'une méthodologie a abouti à un document du projet intitulé "Lignes directrices pour l'étude, et l'élaboration d'un plan de fonctionnement et d'entretien (FE) pour les bâtiments existants" qui constitue l'Annexe B du rapport principal et qui est prévu pour être adapté pour satisfaire à des besoins d'étude de bâtiments particuliers. On propose que ce nouveau document remplace ceux des Phases I et II.

Un des résultats importants de cette étude est la mise au point d'une technique d'enregistrement efficace, permettant au responsable de l'exploitation et à l'administrateur immobilier de comparer le rendement du bâtiment aux performances idéales prévues en fonction de la demande d'énergie et des conditions climatiques. Cette technique permet d'identifier les problèmes et de prendre les mesures correctives correspondantes. La méthodologie de mise en oeuvre de cette technique se trouve à l'Annexe D du rapport principal.

8

1.5 Conclusions

Grâce à l'expérience acquise au cours de cette étude, on a pu constater que des économies d'énergie substantielles pouvaient être obtenues par des améliorations internes dans la plupart des bâtiments. Cependant, il faut procéder à une étude globale du rendement et de l'influence de toutes les installations techniques. Les installations originales nécessitent souvent des modifications. Une bonne expertise dans le domaine de l'énergie est absolument nécessaire pour repérer les faiblesses de rendement et pour étudier les solutions possibles en tenant compte des coûts et de la planification des travaux d'amélioration. Cette expertise et ces activités sont essentielles pour prévoir les implications techniques et économiques à long terme de l'exploitation des installations et pour concevoir des installations modifiables et d'entretien facile correspondant aux besoins en évolution de l'administration et du client. La participation des administrateurs immobiliers et du personnel d'exploitation ainsi que de représentants des occupants est toujours nécessaire pour l'évaluation et l'établissement des recommandations. Des systèmes de contrôle améliorés de la régulation et du rendement sont nécessaires dans la plupart des grands bâtiments si on veut maintenir à long terme un haut niveau de rendement des installations. Parmi les diverses données à enregistrer, la qualité de l'air, le confort thermique et l'éclairage sont les plus importantes pour assurer la satisfaction du client. Une autre conclusion importante découle de cette étude qui s'applique spécialement aux nouveaux bâtiments : il est indispensable d'améliorer les normes d'efficacité des enveloppes de bâtiment, de la qualité de l'environnement intérieur, des composants électriques et mécaniques et de s'en tenir strictement aux nouvelles directives pour la mise en exploitation.

Autres conclusions de cette étude :

- Les équipements qui répondaient aux besoins des occupants peuvent maintenant avoir un rendement insuffisant pour les besoins nouveaux. Les besoins du client vont généralement en augmentant et les installations actuelles ne peuvent plus suffire sans modifications majeures. Il est avant tout nécessaire d'étudier en détail le rendement global du bâtiment pour planifier les corrections à apporter à l'environnement intérieur, à la conception et aux problèmes de fonctionnement en même temps qu'aux problèmes d'économie d'énergie. Une étude type FE dépassant le cadre d'une simple étude de l'énergie est recommandée. Le résumé principal reflète cette recommandation;
- pour une étude type FE faisant appel à des consultants on recommande de faire preuve de plus de souplesse en ce qui concerne les honoraires à cause de la plus grande technicité de ce type de projet. Si on veut atteindre les objectifs fixés, l'administrateur du plan FE doit intervenir davantage au niveau des réunions, de l'évaluation, de l'analyse et de la planification, du contrôle des coûts et de la mise en service;
- pour aider au contrôle de la qualité des travaux consistant à découvrir les problèmes et à évaluer les modifications à apporter ou non, il est recommandé qu'un comité soit mis sur pied comprenant notamment des représentants régionaux de l'Administration immobilière, des techniciens, du personnel d'entretien, d'Exploitation et D&C et de AI et D&C du QG. Le comité devrait se rencontrer périodiquement (probablement tous les six mois) pour coordonner les études, la conception et les problèmes d'exploitation et s'assurer que les ressources ministérielles et locales sont convenablement employées au cours du projet et pour la révision générale et les échanges d'informations. Ce comité aura la responsabilité de mettre à jour le résumé principal du plan FE et ses critères d'application pour s'assurer que les méthodes les plus récentes et la technologie la plus moderne sont bien utilisées dans les études en cours;
- les occupants préfèrent avoir un contrôle le plus direct possible sur leur milieu de travail. Il faut améliorer l'éclairage, le confort thermique, la qualité de l'air sur les lieux du travail (meilleure conception et plus grande souplesse);
- certaines améliorations proposées pour satisfaire aux normes de qualité de l'environnement ou aux besoins du client n'entraîneront pas des économies, mais elles doivent cependant faire partie du programme FE d'amélioration du rendement et devraient être financées par d'autres fonds que ceux alloués aux économies énergétiques;

- pour maintenir le rendement énergétique d'un bâtiment, toutes les modifications futures des plans ou de l'utilisation des zones nécessiteront un changement correspondant des installations mécaniques et électriques. L'éclairage, les interrupteurs, la distribution de l'air, les températures et l'emplacement des thermostats contribuent en grande partie aux problèmes rencontrés dans les diverses zones;
- une analyse basée sur des hypothèses conduit souvent à des améliorations qui une fois mises en oeuvre, sont non seulement peu commodes, mais créent des problèmes nouveaux. Il est souvent nécessaire de procéder à des essais avant d'adopter une solution et d'effectuer un choix des améliorations proposées;
- pour mieux satisfaire le client, il est nécessaire de faire participer au projet des représentants de tous les niveaux, y compris les occupants et de faire en sorte que les améliorations environnementales soient comprises, attendues et perçues comme graduelles et procurent un avantage immédiat et évident pour les occupants si on veut qu'elles aient des chances de demeurer permanentes. Un programme d'information peut être d'une grande valeur pour atteindre ces objectifs. Il permet de faire comprendre qu'il existe une relation entre les économies d'énergie et la qualité de l'environnement intérieur, que les mesures d'économie d'énergie ne sont pas immuables et que tous les occupants peuvent participer au projet. Une partie importante de ce programme devrait être reliée aux économies financières que l'on peut réaliser en réduisant la consommation d'énergie. La personne consciente du fait que son comportement entraîne des coûts en dollars, (et qui est souvent surprise par l'importance de ceux-ci) est plus disposée à changer de comportement que quelqu'un à qui l'on donne des valeurs de consommation en mégajoules par mètre carré.

En conclusion, les économies d'énergie et l'amélioration de la qualité de l'environnement intérieur ne sont pas le résultat d'une opération d'améliorations unique; il s'agit plutôt d'un processus itératif continuel d'analyse et d'enregistrement des rendements énergétiques et du fonctionnement du bâtiment portant sur toute la durée de vie du bâtiment. Cela exige un plan FE complet, spécialement adapté à chaque bâtiment et basé sur une connaissance approfondie du bâtiment, de ses installations, et des besoins de l'administration et du client. L'efficacité à long terme des améliorations dépendra de la possibilité de s'adapter à l'évolution des besoins.

10

2.0 RÉSUMÉS TECHNIQUES

Le bâtiment du MDN a une surface brute totale de planchers de 100 191 m^2. Il abrite 3 200 occupants et reçoit 600 visiteurs par jour. L'occupation principale a lieu entre 07:30 et 16:30; à l'exception de quelques secteurs qui travaillent 24 heures sur 24 et emploient 0.3 % du personnel et 10 % de l'espace (principalement pour la sécurité et l'entretien du bâtiment).

On a procédé à des essais et à des mesures de l'efficacité de l'enveloppe, de la qualité de l'environnement intérieur et des installations électriques et mécaniques afin de déterminer le rendement global. Les rapports, les analyses de données, les discussions et les recommandations détaillées figurent dans les annexes du rapport principal. Les résumés techniques présentés ci-dessous sont des versions abrégées des rapports en question. Dans ce résumé pour la direction ils sont regroupés afin de mieux refléter les trois principaux objectifs du projet.

2.1 Le processus de l'étude — élaboration du plan FE

2.1.1 Principes et méthodologie

L'approche de cette étude du QG du MDN est bien différente des autres études du même genre, principalement du fait que les deux principaux objectifs de l'exercice étaient de produire une méthode d'étude applicable à d'autres bâtiments existants ainsi qu'un plan d'améliorations pour le bâtiment lui-même portant à la fois sur les économies d'énergie et la qualité de l'environnement intérieur. De plus, on s'attendait à une grande sensibilité au changement car une étude précédente avait entraîné une détérioration du confort et de la productivité des occupants. En plus des nombreuses mesures physiques et des essais qui sont décrits ci-après, l'étude a fait largement appel à la participation de représentants de l'administration immobilière, du personnel d'entretien et des occupants, ce qui a permis d'échanger des informations et de faire connaître les sujets de préoccupation. De plus, pour éviter les conflits inhérents à la résistance au changement et avoir des chances que les améliorations apportées soient durables, on a fait participer les occupants et le personnel d'entretien, notamment :

- pour l'évaluation des préoccupations avant que les améliorations ne soient effectuées, en offrant la possibilité de travailler dans des zones ayant un environnement similaire à celui qui serait obtenu après modifications;
- en avertissant suffisamment à l'avance des changements proposés afin de mieux percevoir les effets à évaluer et les avantages qui doivent être évidents;
- en soulignant les implications techniques et en permettant que d'autres solutions ou que des mesures plus appropriées soient envisagées si nécessaire.

La série de relevés et d'essais effectués au QG du MDN a permis d'étudier à fond le rendement réel et potentiel du bâtiment, et notamment :

- de définir en détail les besoins du client;
- de revoir la conception d'origine et de préciser les limites qu'entraîne cette conception;
- de revoir le fonctionnement de l'équipement et les méthodes de fonctionnement utilisées;
- de définir les utilisations actuelles de l'énergie;
- d'identifier les contraintes particulières provenant des besoins du client et des caractéristiques inchangeables du bâtiment;
- d'étudier la capacité des installations existantes de satisfaire aux besoins du client;
- d'identifier les inconvénients des installations actuelles responsables d'une qualité de l'environnement insuffisante pour la satisfaction du client ou d'une utilisation non optimale de l'énergie;

- de définir les modifications possibles et la mise au point d'essais pour examiner leur efficacité;
- d'étudier différentes méthodes pour les recommandations détaillées afin d'optimiser le rendement énergétique et d'améliorer la qualité de l'environnement à la satisfaction du client;
- de choisir un budget d'énergie le plus économique possible après améliorations; et
- de planifier et prévoir le coût des améliorations.

Comme il s'agissait d'un projet pilote, on a examiné plus de possibilités d'améliorations que nécessaire pour déterminer les bénéfices possibles. On a également effectué un grand nombre d'essais sur place pour vérifier certaines conceptions qui ne satisfaisaient pas entièrement et certaines installations inappropriées et pour examiner les résultats du réglage des équipements existants ou la modification des techniques d'exploitation pour résoudre ces problèmes. D'autres études et d'autres essais ont été effectués pour s'assurer que l'analyse théorique conduisait à des propositions réalisables.

Les détails des principes sous-jacents à cette étude se trouvent à l'Annexe E du rapport principal. Pour obtenir des renseignements supplémentaires sur la méthode, le lecteur doit se rapporter au rapport technique particulier et au résumé principal lui-même qui est décrit dans la section qui suit.

2.1.2 Élaboration du plan FE

Le produit final est un résumé intitulé "Lignes directrices pour un plan pilote FE des bâtiments existants" et formant l'Annexe B du rapport principal.

Le résumé principal donne les lignes directrices pour la préparation d'un descriptif exhaustif de travaux pour l'élaboration de plans FE des bâtiments existants. La portée de ce résumé principal tient compte du programme d'inspection des installations et le complète. Les lignes directrices doivent être appliquées au niveau national à tous les bâtiments fédéraux où un plan FE est nécessaire quelle qu'en soit la taille.

Le plan FE indique les rendements insuffisants et recommande des améliorations à apporter, donne des priorités et des renseignements sur les coûts pour chaque bâtiment. Il s'agit d'un plan tenant compte du rendement global du bâtiment, y compris de l'entretien préventif, du fonctionnement, du remplacement de l'équipement périmé ou inadéquat, de mesures d'amélioration, notamment de l'environnement intérieur, des mesures d'économie d'énergie et des besoins particuliers du client. Il indique les étapes à court et à long terme des améliorations ainsi que les divers coûts approximatifs. L'élaboration d'un budget d'énergie le plus bas possible dont la mise en oeuvre des améliorations fait également partie du plan FE. Le plan complet comprend toutes les améliorations proposées aux installations et il doit être mis à jour au moins une fois par an.

Les listes de vérification qui figurent dans le résumé principal ne s'appliquent pas à tous les bâtiments, mais donnent une orientation générale pour les établir et faire des résumés indiquant les défaillances relatives à la qualité de l'environnement intérieur, à la conception, à l'utilisation de l'énergie, au fonctionnement, en indiquant des solutions possibles. Les listes de vérification permettent de reconnaître les bons et les mauvais rendements et d'identifier les essais nécessaires. Elles doivent être un outil de la réalisation du plan d'améliorations de chaque bâtiment.

Le résumé doit être revu par l'ingénieur responsable des installations. La révision doit être faite après avoir adapté les lignes directrices aux exigences particulières du bâtiment, soit par des ajouts, des suppressions ou des amendements aux renseignements existants afin de limiter les travaux en fonction des délais et des fonds disponibles.

2.2 Élaboration du plan d'améliorations

2.2.1 Enveloppe

L'enveloppe a fait l'objet d'une étude thermographique aérienne et au sol. L'étude avait pour but de détecter les principales défaillances, notamment les fuites d'air, et de faire une analyse, une évaluation et des recommandations. Bien que des défauts particuliers aient été observés, l'intégrité de l'enveloppe du bâtiment a été considérée globalement comme meilleure que la moyenne des bâtiments construits il y a 12 ou 15 ans. Certains défauts entraînant des fuites d'air ont été corrigés et d'autres études sont effectuées par le groupe de travail du CNRC.

L'analyse détaillée des recommandations se trouve à l'Annexe G du rapport principal.

2.2.2 Environnement intérieur

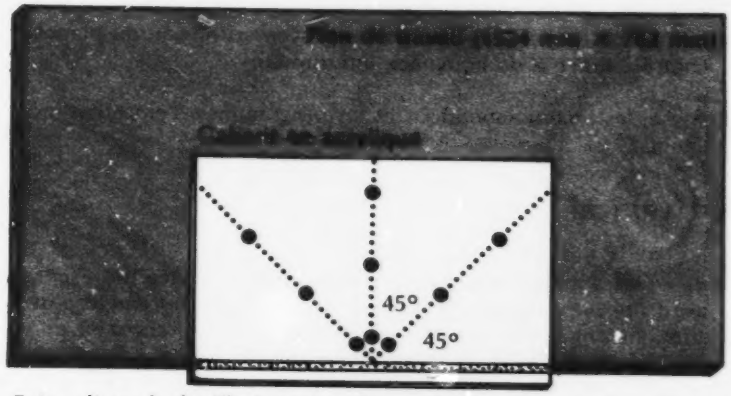
Les essais et les relevés des taux de CO_2 dans des endroits pris au hasard à l'intérieur du bâtiment ont révélé que la qualité de l'air intérieur était excellente en raison d'une bonne circulation. Elle est en fait largement supérieure au niveau exigé par TPC, soit d'environ 10 renouvellements d'air par heure (1.25 $pi^3/mn/pi^2$) alors que l'exigence minimale est de 6 renouvellements d'air par heure (ou 0.6 à 0.7 $pi^3/mn/pi^2$). En ce qui concerne la ventilation, les relevés ont indiqué que chaque personne recevait l'équivalent de 20 à 25 L/s (40 à 50 pi^3/mn) d'air frais à comparer à 2.5 - 10 L/s (5 à 20 pi^3/mn) recommandé dans les normes ASHRAE (les chiffres les plus hauts correspondant aux zones où il est permis de fumer). Bien que la circulation d'air soit élevée et que la plupart des zones aient plutôt un excédent, il existe quelques zones où la circulation d'air est insuffisante.

Afin de vérifier de nouveau la qualité de l'environnement intérieur à la suite des améliorations, et de permettre de régler de façon précise la ventilation, il est recommandé que la qualité de l'air soit de nouveau mesurée avant l'achèvement des travaux d'améliorations (partie du programme d'équilibrage final).

L'analyse détaillée et les recommandations se trouvent à l'Annexe H du rapport principal.

Figure 3 : Concentrations de CO_2, 10 et 11 décembre 1981, 7ième étage tour nord, QG/MDN

Figure 4 : Points de la grille pour les mesures d'éclairement des postes de travail



Faire glisser la feuille jusqu'au-dessus de l'ouverture du pupître

2.2.3 Éclairage

La réduction de l'éclairage est due principalement à la suppression de lampes et à l'enlèvement de certains ballasts des appareils d'éclairage. Avec les changements importants d'espace et de répartition du personnel avec le temps, la quantité et la qualité de l'éclairage dans plusieurs zones ont baissé.

Les mesures in situ de l'éclairage existant et le programme d'ordinateur pour l'éclairage ont révélé qu'il y avait plusieurs améliorations possibles; chacune d'entre elles ayant été évaluée techniquement et économiquement. Les changements apportés à l'éclairage devront faire l'objet d'études d'impact sur le personnel avant d'être appliqués.

L'éclairage représente environ 40 % de l'énergie électrique annuelle consommée par le bâtiment. L'éclairage actuel pour les zones de bureaux correspond à environ 500 W par personne. Certaines réductions peuvent résulter des modifications apportées aux appareils existants (espacement de 5 pieds entre les modules). Des modifications importantes de l'aménagement des bureaux, cependant, sont prévues pour bientôt. On peut saisir cette occasion pour réduire les reflets qui nuisent à la vision et spécialement à la lecture des écrans vidéo, pour améliorer le niveau de luminance, pour réduire le niveau ambiant et fournir une plus grande flexibilité de contrôle de l'éclairage pour un coût additionnel faible. Le concept recommandé est le suivant :

- mettre en place des interrupteurs dans les zones où l'éclairage n'est pas toujours nécessaire;
- réduire l'éclairage dans les zones où il n'y a pas de gens qui travaillent;
- utiliser des lampes de travail pour les nouveaux postes de travail avec des interrupteurs individuels;
- utiliser des appareils de plafond pour fournir l'éclairage général (débranchement de certains tubes);
- utiliser des tubes fantômes dans les autres zones;
- n'améliorer que les luminaires existants qui sont nécessaires et poser des ballasts consommant peu d'énergie, et les tubes et les diffuseurs nécessaires; et
- installer des interrupteurs généraux supplémentaires et un contrôle automatique de l'éclairage.

Les diffuseurs en acrylique ont jauni après 12 ans et leur capacité de transmettre la lumière s'est nettement détériorée. Les essais effectués dans le cadre de ce rapport indiquent que l'efficacité des luminaires est seulement de 56 %. Pour les zones qui doivent être réaménagées et qui doivent avoir un éclairage général au plafond il faut installer de nouveaux luminaires à haut rendement (accessoires, lampes et ballasts), ce qui peut être plus efficace que d'améliorer l'équipement existant.

Un programme d'entretien du système doit être élaboré pour ce bâtiment afin d'obtenir et de maintenir les niveaux d'éclairage prévus dans les normes de TPC.

L'objectif consiste à obtenir un éclairage de pointe moyen au niveau du plancher de 18.3 W/m^2 (1.7 W/pi^2) avec un meilleur contrôle grâce à de nouveaux interrupteurs.

Les détails de l'analyse, les recommandations et les programmes d'entretien proposés figurent aux Annexes J et L du rapport principal.

2.2.4 Transport vertical

Les durées d'attente et les appels enregistrés montrent que le service des ascenseurs dépasse les normes de TPC du fait qu'il avait été prévu pour une densité d'occupation nettement plus élevée que celle qui existe au MDN. Les installations ont seulement une génération de retard au point de vue technologique et ne consomment que 2.4 % environ de l'énergie électrique annuelle. À partir de ces résultats, on a estimé qu'il n'y avait probablement aucun avantage à remplacer les ascenseurs ou à opter pour une nouvelle installation.

Les détails de l'analyse du rendement du transport vertical et des recommandations se trouvent à l'annexe K du rapport principal.

2.2.5 Distribution d'électricité

On a étudié la demande d'électricité pour tout le bâtiment et pour chaque transformateur afin de déterminer si des charges exceptionnelles pouvaient être décalées pour abaisser la demande. Une réduction des pointes ne semble pas justifiée car la demande est quasi constante toute l'année.

On a étudié les profils de consommation d'énergie mensuel et annuel et tous les facteurs de puissance. Les facteurs de puissance ont aussi été mesurés sur les panneaux de distribution secondaire, les panneaux d'éclairage et les moteurs importants afin de déterminer si des corrections devaient être apportées.

Le tableau 1 indique la consommation annuelle au début de l'étude après quelques améliorations mineures ainsi que les objectifs par l'achèvement de toutes les améliorations.

La demande est relativement élevée et continue au cours de la nuit, des fins de semaines et des jours fériés à cause des besoins spéciaux des occupants (centre de commandes, espaces réservés au matériel électronique et zones spéciales). La consommation représente alors, entre 26 et 29 % de celle des heures de travail.

Les facteurs de puissance étaient les suivants :

Panneaux d'éclairage	0.92
Panneaux de distribution (sous-station)	0.85 à 0.87
Moteurs	0.72 à 0.87*
Total pour tous les services du bâtiment	0.84 à 0.87

(*Selon la sollicitation du moteur et sa puissance)

Les factures d'électricité indiquaient une pénalité pour les facteurs de puissance (inférieurs à 0.90) de 4 300 $ par année. Il est donc recommandé que des mesures soient prises pour les gros moteurs.

Les détails de l'analyse et les recommandations concernant la distribution d'électricité se trouvent aux annexes I, J et L du rapport principal.

Tableau 1 : Consommation d'électricité, QG/MDN, pour les années 1981, 1984 et prévisions pour 1986.

	Secteur			Total
	Éclairage[1]	Moteurs[2]	Divers[3]	
Consommation annuelle — 1981 (kWh)	7 200 000	7 200 000	3 600 000	18 000 000
(pourcentage du total)	(40.0)	(40.0)	(20.0)	(100)
Consommation annuelle — 1984 (kWh)	7 200 000	5 820 000[4]	3 600 000	16 620 000
(pourcentage du total)	(43.3)	(35.0)	(21.7)	(100)
Consommation annuelle prévue — 1986 (kWh) (après améliorations)	4 697 400	4 019 500	2 287 600	11 004 500
(pourcentage du total)	(42.7)	(36.5)	(20.8)	(100)
Pourcentage de réduction des kWh de 1981 à 1986 provenant des améliorations	34.8	44.2	36.5	38.9

note 1 L'éclairage représente celui de tous les bureaux, et des usages auxiliaires exceptés ceux dont il est tenu compte sous la rubrique divers

2 Les moteurs représentent tous les moteurs de CVAC et les pompes, sauf les appareils spéciaux

3 Divers représente les ascenseurs, la cafétéria, l'éclairage de sécurité, les prises des planchers et des murs, l'escalier mécanique, les ventilateurs, l'équipement d'air conditionné spécial situé dans le bâtiment, l'équipement d'imprimerie et les autres consommations d'électricité mineures

4 Noter que les économies d'électricité ont été attribuées principalement à la réduction de la puissance des ventilateurs résultant des améliorations apportées aux conduits et qui ont permis de réduire la vitesse des ventilateurs des six réseaux de CVAC.

2.2.6 Chauffage et air climatisé

Les installations mécaniques en place sont bien entretenues et comportent un réseau de conduits doubles. L'air chaud et l'air froid se mélangent dans des boîtes en fonction des réglages des thermostats des pièces qui indiquent la température souhaitée selon les besoins. Malgré cette conception inefficace au point de vue énergétique, le contrôle de l'environnement intérieur est bon. Cependant, le coût en est extrêmement élevé (d'après les critères actuels).

L'étude des installations mécaniques a révélé des insuffisances comme :

- un gaspillage d'énergie à cause du mélange permanent d'air chaud et d'air froid et de la distribution d'un volume d'air important dans des zones où il n'est pas nécessaire;
- l'absence d'un réseau de distribution d'air périphérique séparé à partir du quatrième étage; ce qui signifie que certains ventilateurs fonctionnent à pleine vitesse 24 heures par jour pendant toute la saison du chauffage et fournissent de grandes quantités d'air pendant des périodes où le bâtiment n'est pas occupé tandis que l'alimentation suffit à peine à desservir certaines zones de services essentiels et à assurer la circulation dans le réseau;
- une perte dynamique élevée se produisant dans les plénums d'air de grand volume sans conduits;
- les hauts rendements qui pourraient être obtenus sont souvent limités par les besoins du client et notamment par le nombre de zones spéciales, un horaire de fonctionnement prolongé pour une bonne partie de l'équipement en raison de l'étalement des opérations en dehors des heures de travail et la nécessité d'entretenir des conditions idéales dans toute la zone desservie pour chaque équipement alors qu'il suffirait de ne desservir qu'une partie de la zone;
- l'inconfort dans plusieurs zones périphériques du bâtiment entraîne des plaintes. Du côté sud il fait trop chaud tandis qu'au nord et dans les coins il fait parfois trop froid;
- le mauvais rendement de certaines parties de l'installation gaspille l'énergie car les ventilateurs doivent maintenir de fortes pressions statiques pour compenser les trop faibles dimensions des conduits;
- la difficulté de régler le chauffage ou le refroidissement lorsque la charge est partielle et les fluctuations rapides de température pour des périodes courtes. Ce type d'installation fournit presque toujours en même temps de l'air froid et de l'air chaud et toute insuffisance de la régulation est plus ou moins compensée, mais au coût d'une perte d'énergie importante;

- de grands écarts de température entre les diverses zones du bâtiment après l'arrêt de l'installation. Les ventilateurs fonctionnent en permanence ou de façon prolongée à cause de ce problème;
- des problèmes reliés à la distribution de l'air. Actuellement, l'alimentation en air varie d'excessive dans la plupart des zones à insuffisante dans d'autres; et
- les halls des ascenseurs et les autres zones de service de chaque étage sont desservis par les conduits de l'installation centrale d'air climatisé au lieu d'évacuer l'air des zones intérieures par ces endroits. Le débit d'air conditionné utilisé à cette fin est de l'ordre de 36 700 L/s (77 000 pi^3/mn).

Afin d'éviter le gaspillage d'énergie et de maintenir la qualité de l'environnement intérieur, il a été recommandé de modifier certains conduits, des gaines verticales et des faux plafonds, ainsi que les ventilateurs et les serpentins de chauffage et de refroidissement, les registres et les plénums. Les quantités d'air et les températures obtenues doivent correspondre le plus possible aux besoins. On recommande une meilleure régulation des installations de CVAC, et notamment un nouveau système électronique programmable et un ordinateur central pour gérer la consommation d'énergie et obtenir un réglage optimum tout en enregistrant le rendement des diverses installations en permanence. Des réseaux de CVAC individuels devraient être installés lorsqu'il existe des besoins particuliers exprimés par le client de sorte que l'installation centrale puisse être arrêtée en dehors des heures d'occupation du bâtiment.

Les détails de l'analyse et les recommandations se trouvent à l'annexe M du rapport principal.

2.2.7 Étude de la consommation d'énergie

On a mis au point un modèle thermodynamique et un programme de simulation sur ordinateur pour connaître le rendement annuel du bâtiment et de ses diverses installations afin d'étudier en détail les améliorations proposées et de comparer les effets de différentes techniques sur la consommation d'énergie et la qualité de l'environnement intérieur. Le programme dynamique a aussi chiffré les consommations d'énergie; ce qui a permis d'évaluer l'amortissement du capital investi dans les améliorations. Le bilan énergétique calculé par l'ordinateur pour le QG du MDN après les améliorations est le suivant :

Chauffage	262 MJ/(m^2·a)
Refroidissement	82 MJ/(m^2·a)
Électricité	369 MJ/(m^2·a)
Consommation minimale totale	740 MJ/(m^2·a)

Cette consommation minimale est basée sur l'hypothèse que tous les avantages de toutes les améliorations seront obtenus; ce qui est toujours difficile à réaliser dans un bâtiment existant. Une marge de 40 MJ/(m^2·a), représentant une perte de 5 % par rapport aux économies réalisables [808 MJ/(m^2·a)] a donc été incluse, ce qui a fait passer la consommation d'énergie globale à 780 MJ/(m^2·a). Cette valeur semble réaliste pour ce bâtiment si on se base sur les besoins actuels et sur des améliorations recommandées.

Les détails de l'étude de la consommation d'énergie se trouvent à l'annexe N du rapport principal.

2.2.8 Plan d'améliorations recommandé

Plusieurs améliorations ont été évaluées; ce qui a permis d'élaborer un plan d'améliorations comme celui du tableau 2.

En résumé, les améliorations recommandées portent sur les principaux points suivants :

a) la conversion au système à volume d'air variable pour les réseaux de CVAC desservant les zones centrales du bâtiment, c'est-à-dire pour les bureaux ou les usages similaires, afin de fournir seulement les quantités nécessaires d'air conditionné requises pour chaque zone;

b) la modification du réseau de conduits périphériques pour améliorer le chauffage en hiver et la climatisation en été. On prévoit également la circulation d'un mélange d'air chaud et froid pour le printemps et l'automne;

c) l'installation d'une régulation à contrôle digital direct entièrement automatisé suivant les améliorations de l'installation pilote;

d) les changements de l'éclairage dans presque tout le bâtiment, y compris la pose d'interrupteurs et un plus grand nombre d'appareils d'éclairage de travail; et

e) de nombreuses autres améliorations, notamment une meilleure étanchéité de l'enveloppe du bâtiment, la correction des défauts du système de CVAC et la réduction ou l'élimination des pertes d'énergie dans les zones à usage spécial.

Pour être effectuées, la plupart de ces modifications ne nécessiteront que de courtes interruptions de fonctionnement; une étroite coopération sera cependant nécessaire pour minimiser l'impact sur les activités des occupants.

Le tableau 2 résume les trente-six améliorations recommandées, classées en quatre groupes. Le groupe I relatif à l'énergie comporte des améliorations interdépendantes. Pour cette raison et comme le bénéfice à attendre exige qu'elles soient mises en oeuvre ensemble, il est recommandé de suivre cette stratégie. Le groupe II comprend une étude des économies réalisables en évitant les pénalités relatives à l'alimentation électrique. Les améliorations du groupe III sont reliées à la conception en fonction des besoins du client et leur amortissement est moins évident. Leur mise en application accroîtra le rendement global et le confort. Le groupe IV vise une plus grande flexibilité de fonctionnement.

Les améliorations comprennent un certain nombre d'installations d'essai ou pilotes, parmi lesquelles un système de contrôle digital direct du réseau de CVAC numéro 1, et l'installation de nombreux interrupteurs d'éclairage ainsi que des modifications importantes de l'éclairage du huitième étage (bloc central), pour lequel une évaluation séparée est en cours. Tous ces projets sont considérés comme ayant été couronnés de succès. Les bénéfices ne proviennent pas uniquement des économies d'énergie; la stratégie du plan d'améliorations permet d'augmenter nettement le confort à l'intérieur du bâtiment et fournit nombre d'avantages pour l'entretien.

Tableau 2 : Améliorations recommandées, QG MDN

Améliorations, groupe I		Coût total estimé
A	**Travaux achevés en juin 1985**	
1.	Transformer les conduits doubles en conduits simples dans la partie centrale du bâtiment	$ 60,000.00
2.	Réduire la vitesse des ventilateurs pour les réseaux 1, 3, 5, 7, 9 et 10	$ 10,000.00
3.	Modifier la distribution d'air des réseaux 1, 3, 5, 7, 9 et 10, y compris le rebranchement de certains conduits du réseau #8 sur le réseau #7	$ 35,000.00*
4.	Installer des registres de permutation pour les conduits périphériques des réseaux #1, 3, 5, 7, 9 et 10	$ 30,000.00
5.	Améliorer le fonctionnement et faire un examen complet des boîtes de mélange	$ 50,000.00
6.	Installer de nouveaux tubes fantômes dans toutes les salles d'attente	$ 2,500.00
7.	Modifier l'éclairage du gymnase du cinquième étage	$ 1,200.00
8.	Ajouter des interrupteurs dans les locaux techniques, les locaux de stockage et les entrées des ascenseurs ainsi que dans les ateliers des 4e et 20e étages, et des tubes fantômes dans les entrées des monte-charge et les cages d'escalier	$ 16,529.00
9.	Modifier l'éclairage et installer des tubes fantômes au huitième étage dans la partie centrale	$ 7,136.00
10.	Installer des interrupteurs individuels et un réglage automatique de l'éclairage au huitième étage dans la partie centrale	$ 40,000.00
11.	Modifier l'éclairage et ajouter des interrupteurs dans la bibliothèque	$ 10,000.00*
B	**Modifications recommandées pour une application immédiate**	
12.	Modifier les installations actuelles de CVAC des pièces des opérations de sécurité et des salles d'ordinateurs afin de permettre l'arrêt du réseau central #5	$ 65,000.00
13.	Installer un nouvel appareil de CVAC pour la zone réservée à la police militaire, niveau 1, afin de permettre l'arrêt du réseau central #1	$ 8,000.00
14.	Achever l'installation du système de contrôle et d'enregistrement électronique assisté par ordinateur grâce à des microprocesseurs programmables, à des commandes à distance et individuelles pour commander les réseaux #2 à 10 ainsi que les appareils individuels de réglage des registres de permutation des conduits périphériques (réseau #1 achevé)	$ 430,000.00*
C	**Améliorations recommandées**	
15.	Modifier les serpentins de chauffage, les robinets de réglage et leurs moteurs sur les réseaux #1, 3, 5, 7, 9 et 10	$ 74,500.00*
16.	Corriger les fuites des registres d'air frais des réseaux 1 à 10 inclusivement	$ 25,000.00*
17.	Empêcher l'alimentation en air des pièces réservées à l'équipement mécanique et électrique, aux 6e et 20e étages	$ 600.00
18.	Réétalonner les thermomètres d'ambiance partout dans le bâtiment et les répartir convenablement pour les réglages	$ 10,850.00
19.	Installer d'autres tubes fantômes, de nouveaux diffuseurs, ballasts, etc., et dans certains cas de nouveaux appareils d'éclairage au plafond	$ 45,000.00*
20.	Installer des interrupteurs supplémentaires et un contrôle automatique de l'éclairage général du bâtiment	$ 320,000.00
21.	Réisoler les grosses conduites d'eau chaude sanitaire et de vapeur dans les zones accessibles	$ 35,000.00
22.	Modifier les plénums du CVAC central pour en améliorer le rendement	$ 100,000.00*
23.	Installer un nouvel appareil de CVAC au treizième étage de la tour nord pour permettre l'arrêt du réseau #9	$ 18,000.00
24.	Réduire l'extraction d'air et rééquilibrer la ventilation dans la cafétéria	$ 4,000.00
25.	Augmenter l'alimentation en air du poste de commandes techniques du niveau 4	$ 1,700.00
26.	Équilibrer les réseaux de distribution d'eau et d'air, notamment en modifiant la vitesse des ventilateurs et en ajustant précisément la distribution dans les différentes zones	$ 100,000.00
27.	Poser des poires de douches à faible débit dans le gymnase du cinquième étage	$ 400.00
28.	Modifier les commandes des rampes de glycol	$ 2,300.00
	Sous-total, groupe I	**$1,502,715.00**
Améliorations, groupe II (à compléter pour juin 1985)		
29.	Correction des facteurs de puissance	$ 20,000.00
	Sous-total, groupe II	**$ 20,000.00**
Améliorations, groupe III		
30.	Modifier le réseau de CVAC desservant la zone de la poste, niveau 1	$ 7,500.00
31.	Modifier les conduites desservant la zone des chambres fortes au sous-sol	$ 5,000.00
32.	Corriger les fuites d'air de l'enveloppe du bâtiment	$ 40,000.00
33.	Modifier la zone du hall principal	$ 40,000.00
34.	Modifier les réseaux de CVAC desservant l'imprimerie et le hall du niveau 3 pour pouvoir arrêter le réseau central numéro 6	$ 37,500.00
	Sous-total, groupe III	**$ 130,000.00**

Tableau 2 : suite

Améliorations, groupe IV (étude plus poussée recommandée)	
35. Pose de ventilateurs à deux vitesses sur les réseaux #1, 3, 5 et 7 (le réseau #1 doit être amélioré en premier et essayé avant de modifier les autres)	$ 77,800.00*
36. Modifier les pompes des circuits de refroidissement	$ 7,200.00
Sous-total, groupe IV	**$ 85,000.00**
Sous-total, groupe I à IV	$1,737,715.00
Honoraires des ingénieurs-conseils et commissions	$ 150,000.00
Coût total des améliorations	**$1,887,715.00**

*zone de l'étude pilote

Tableau 3 : Économies et amortissements résultant des améliorations recommandées, QG, MDN

	Groupe I	Groupe II	Groupe III	Groupe IV[1]	Groupe V
Investissement	$1,502,715	$20,000	$130,000	$85,000	$1,887,715[2]
Taux d'intérêts moyens en (%)	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0
Économies de combustibles, première année	$ 415,822	—	$ 16,972	—	$ 432,795
Augmentation annuelle du combustible (%)	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
Économies d'électricité, première année	$ 286,313	$ 4,300	$ 17,674	—	$ 303,987
Augmentation annuelle du prix de l'électricité (%)	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
Entretien/autres économies, le cas échéant	-0-	-0-	-0-	-0-	-0-
Périodes d'amortissement des coûts (à 0.001 année près)	2.391		4.227		2.869

[1]Les économies ne peuvent être calculées jusqu'à ce que les études pilotes soient achevées
[2]Ces chiffres comprennent les honoraires et les commissions

2.3 Normes et lignes directrices en matière d'énergie, TPC

On a révisé les normes, les lignes directrices et les méthodes ministérielles en matière de rendement énergétique des bâtiments nouveaux et réhabilités, élaborées et utilisées par TPC. En se basant sur des bâtiments similaires à ceux du QG du MDN on a étudié le besoin de revoir ou de mettre à jour les documents existants et de mettre au point de nouvelles normes de rendement énergétique pour les bâtiments neufs et existants.

On en a conclu que, lorsque c'était possible, les nouvelles normes de TPC sur l'énergie devraient être plutôt des exigences de rendement et devraient comprendre en plus des normes de qualité des méthodes d'essai pour vérifier le niveau de qualité. Des essais sont également nécessaires pour définir le rendement des bâtiments, des installations et des composants; un essai particulier doit être préparé pour chacun d'entre eux. Les exigences identifiées et les recommandations faites sur les nouvelles normes ou les mises à jour figurent à l'annexe F du rapport principal.

RÉSUMÉ

Ce document cherche à décrire l'approche, la méthodologie, les résultats et les principes des études pilotes sur la conservation de l'énergie appliquées au QG du MDN. Bien que cette étude ait pris du temps, elle sera largement compensée par les économies d'énergie (en dollars) qu'elle permettra de réaliser et par l'élaboration de méthodes applicables à d'autres bâtiments de toutes dimensions et complexités. Beaucoup d'autres avantages ont été découverts au cours de ce travail, ils permettront d'améliorer les techniques d'étude à l'avenir. De plus, il s'agit d'un changement d'orientation vis-à-vis de la consommation d'énergie : l'étude ne porte plus uniquement sur l'énergie consommée mais plutôt sur une analyse globale du bâtiment dont l'énergie est l'un des facteurs.

Les personnes intéressées trouveront des renseignements supplémentaires sur l'analyse du bâtiment et sur plusieurs aspects dans les ouvrages de référence de la bibliographie suivante.

20

BIBLIOGRAPHIE

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. "Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality;" ASHRAE Standard 62-1981. Atlanta, 1981.

Barber-Colman Company. "Designing for Energy Conservation: A Treatise on Variable Air Volume Systems;" F-15817 Br. Rockford, 1975. (Available from Barber-Colman Co., 1300 Rock Street, Rockford, Illinois, USA 61101.)

Becker, H.P. and Baker, M. "Energy Conservation Analysis of Pumping Systems." ASHRAE Journal, vol. 16.6 (1974): 658-669.

Bergland, T.G. "Thermal Acceptability;" DE-79-9, No. 4, ASHRAE Transactions, vol. 85.2 (1979): 825-834.

Black, A.W. "A Heretical View of Energy Programs or Is Bigger Really Better?" HA-M—1, ASHRAE Transactions, vol. 83.2 (1977): 300-311.

Brown, R.J. "Energy Economics: Caveat Emptor." Heating/Piping/Air Conditioning, vol. 54.9 (September 1982): 95-97.

Carlton-Ross, J.A. "Energy Engineering for Occupied Places." ASHRAE Journal, vol. 24.10 (October 1982): 35-39.

Cho, A.I. and Ali, A. "Efficient Systems for After Hours Office Cooling." Heating/Piping/Air Conditioning, vol. 48.3 (March 1976): 57-59.

Cooper, K.W. "Energy Conservation and an Energy Budget: What is ASHRAE Doing?" ASHRAE Journal, vol. 17.8 (August 1975): 55-58.

Cox, P.M. et al. "The Effects of Light on Health: A Review and Assessment." A report prepared for the Bureau of Human Ecology, Department of Health and Welfare (Canada), by William Lam Associates, Cambridge, Mass., March 1976.

Crall, G.C. et al. "A Computer Simulation and Validation of a Building Heating, Ventilating and Air Conditioning System;" No. 2361, RP-66-OS, ASHRAE Transactions, vol. 81.1 (1975): 506-518.

Cuplinskas, E.I. "Thermal Response Calculations by the Finite Differences Method;" No. 2457, ASHRAE Transactions, vol. 83.2 (1977): 118-131.

Davidge, R.O.C. and Everett, P.E. "'Stack Effect' Tracer Gas Air Leakage Test (Test #2): Calgary Government of Canada Building — March 17, 1983." Harry Hayes Building Report, vol. 12, "Air Leakage," Public Works Canada, Architectural and Building Sciences Division, Ottawa, 1984.

Dynamics Corporation of America. "Anemostat Helps You Cut Energy Costs with VAV Retrofit." Product catalogue #76 VR, available from Anemostat Products Division, Dynamics Corp. of America, 888 North Keyser Avenue, Scranton Pennsylvania, USA 18501.

Field, A.A. "Wind Action on Tall Buildings." Heating/Piping/Air Conditioning, vol. 42.5 (May 1970): 113-116.

Fleming, W.S. "Energy Conservation: An Investigation of the Thermal Comfort Alternative;" DE-79-9, No. 3, ASHRAE Transactions, vol. 85.2 (1979): 813-824.

Gatley, D.P. "Studies in Energy Management: A Big Hotel Gets a Big Energy Management Retrofit with a Big ROI." Heating/Piping/Air Conditioning, vol. 53.9 (September 1981): 91-100.

Greenburg, A. "Energy Accounting systems." ASHRAE Journal, vol. 22.1 (January 1980): 53-56.

Guntermann, A.E. "Component Approach to Energy Budgets." Heating/Piping/Air Conditioning, vol. 52.5 (May 1980): 63-69.

Hill, J.E. and Kusuda, T. "Dynamic Characteristics of Air Infiltration;" No. 2337, ASHRAE Transactions, vol. 81.1 (1975): 168-185.

Honeywell Incorporated. "Variable Air Volume Systems Manual." No. 74-5461, 1976. Available from Honeywell Inc., 740 Ellesmere Road, Scarborough, Ontario, M1P 2V9, at $2.00.

Hunt, C.M. and Burch, D.M. "Air Infiltration Measurements in a Four-bedroom Townhouse Using Sulfur Hexafluoride as a Tracer Gas;" No. 2338, ASHRAE Transactions, vol. 81.1 (1975): 186-201.

Inone, U. and Matsumoto, T. "A Study on Energy Savings with Variable Air Volume Systems by Simulation and Field Measurements." Energy and Buildings, vol. 2.1 (1979): 27-36.

Janisse, N.J. "A Low-calorie Energy Diet for Your Building," ASHRAE Transactions, vol. 81.2 (1975): 362-370.

Kent, H.S. "Engineering Building Designed with Heat Reclaim in Mind." Heating/Piping/Air Conditioning, vol. 42.11 (November 1970): 79-82.

Keyes, M.W. "Analysis and Rating of Drapery Materials Used for Indoor Shading;" No. 2040, ASHRAE Transactions, vol. 73.1 (1967): VII.4.1-.15

Klassen, J. "Thermal Comfort in the Name of Energy Conservation;" DE-79-9, No. 2, ASHRAE Transactions, vol. 85.2 (1979): 809-812.

Kusuda, T. "A Comparison of Energy Calculation Procedures." ASHRAE Journal, vol. 23.8 (August 1981): 21-24.

Levine, A.Z. "The Mysterious Behaviour of Multi-zones and Double Ducts." ASHRAE Transactions, vol. 81.2 (1975): 371-386.

Liptak, B.G. "Reducing the Operating Costs of Buildings by the Use of Computers;" CH 77-2, ASHRAE Transactions, vol. 83.1 (1977): 343-360.

Lowenhaupt Collins, B. "Evaluation of Human Response to Building Fenestration;" HA-77-4, No 1, ASHRAE Transactions, vol. 83.2 (1977): 405-420.

McBride, M.F. et al. "Field Validation Test of the Hourly Load Program Developed from the ASHRAE Algorithms;" No. 2360, RP-66-OS, ASHRAE Transactions, vol. 81.1 (1975): 484-505.

Manian, V.S. "Electric Energy Monitoring Device for Conservation Studies." Heating/Piping/Air Conditioning, vol 49.10 (October 1977): 115-117.

Matsuura, K. "Turning Off Line in Perimeter Areas for Saving Lighting Energy in Side-lit Office." Energy and Buildings, vol. 2.1 (January 1979): 19-26.

Mikhail, S. "Utilisation efficace de l'énergie dans les bâtiments fédéraux". Document présent à la conférence des ministres et sous-ministres de Travaux publics/Services gouvernementaux/Approvisionnements et Services Canada, T.P.C. sept. 1974.

Miller, P.L. "Room Air Diffusion Systems: A Re-evaluation of Design Data; No. 2552, RP-217, ASHRAE Transactions, vol. 85.2 (1979): 375-384.

Moore, G.L. and Pennington, C.W. "Measurement and Application of Solar Properties of Drapery Shading Materials;" No. 2039, ASHRAE Transactions, vol. 73.1 (1967): VIII.3.1-.15.

National Concrete Masonry Association. "The 'M' Factor: The Use of Mass to Save Energy in the Heating and Cooling of Buildings." Virginia, 1976.

National Concrete Masonry Association. "A Comparison of Very Light Walls of Wood, Metal and Glass versus Concrete Masonry in Energy Conservation." Virginia, 1976.

(Les deux documents ci-dessus sont diffusés par la National Concrete Masonry Association, 6848 Elm Street, Suite #711, McLean, Virginia, USA 22101.)

Olivieri, J.B. "Energy Conservation and Comfort — Are They Compatible?" DE-79-9, No. 1, ASHRAE Transactions, vol. 85.2 (1979): 799-808.

Patterson, N.R. "Energy Performance for New Buildings." ASHRAE Journal, vol. 22.1 (January 1980): 51-52.

Rodkiewicz, C.M. and Hsieh, T.Y. "On the Behavior of High Velocity Air in Cylindrical Branch Take-offs;" No. 2373, ASHRAE Transactions, vol. 81.2 (1975): 213-220.

Rudoy, W. and Robins, L.M. "Pulldown Load Calculations and Thermal Storage during Temperature Drift;" No. 2432, RP 152, ASHRAE Transactions, vol. 83.1 (1977): 51-63.

Schoenberger, P.K. "Energy Saving Techniques for Existing Buildings." Heating/Piping/Air Conditioning, vol. 47.1 (January 1975): 98-105.

Seth, D.S. and Laszlo, G.P. "Energy Conservation Study: Atmospheric Environment Services Building." Technical Note Series No. 48, Travaux publics Canada, 1977.

Shaw, C.Y. "A Method for Predicting Air Infiltration Rates for a Tall Building Surrounded by Lower Structures of Uniform Height;" (NCR-DBR Paper No. 890), No. 2514, ASHRAE Transactions, vol. 85.1 (1979): 72-84.

Shaw, C.Y. "Methods for Conducting Small-scale Pressurization Tests and Air Leakage Data of Multi-storey Apartment Buildings;" No. 2570, ASHRAE Transactions, vol. 81.2 (1975): 241-250.

Shaw, C.Y. "Wind and Temperature Induced Pressure Differentials and an Equivalent Pressure Difference Model for Predicting Air Infiltration in Schools;" No. 2573, ASHRAE Transactions, vol. 81.2 (1975): 268-279.

Shaw, C.Y., Sander, D.M. and Tamura, G.T. "Air Leakage Measurements of the Exterior Walls of Tall Buildings;" (NRC-DBR Paper No. 601), No. 2280, ASHRAE Transactions, vol. 79.2 (1973): 40-48.

Shaw, C.Y. and Tamura, G.T. "The calculation of Air Infiltration Rates Caused by Wind and Stack Action for Tall Buildings;" (NRC-DBR Pater no. 761), No. 2459, ASHRAE Transactions, vol. 83.2 (1977): 145-158.

Spielvogel, L.G. "Comparisons of Energy Analysis Computer Programs;" HA-77-1, No. 1, ASHRAE Transactions, vol. 83.2 (1977): 293-299.

Spielvogel, L.G. "Energy Performance Data." ASHRAE Journal, vol. 22.1 (January 1980): 46-50.

Spielvogel, L.G. "Office Building Energy Use." ASHRAE Journal, vol. 24.11 (November 1982): 25-31.

Stricker, S. "Measurement of Air-tightness of Houses;" No. 2336, ASHRAE Transactions, vol. 81.1 (1975): 148-167.

Stubblefield, R.R. "Energy Conservation in Commercial Buildings." Heating/Piping/Air Conditioning, vol. 46.6 (June 1974): 50-55.

Sun, T.Y. "Computerized Shadow and Solar Load Evaluations." Heating/Piping/Air Conditioning, vol. . . . (July 1981): 47-51.

Tamblyn, R.T. "Thermal Storage Applications: Thermal Energy Storage Problems in Design and Application and Some Suggested Antidotes." Heating/Piping/Air Conditioning, vol. 54.1 (January 1982): 59-71.

Tamura, G.T. "Measurement of Air Leakage Characteristics of House Enclosures;" No. 2339, ASHRAE Transactions, vol. 81.1 (1975): 202-211.

Timmons, M.B. et al. "Experimental and Numerical Study of Air Movement in Slot-ventilated Enclosures;" No. 2569, ASHRAE Transactions, vol. 86.1 (1980): 221-240.

Turner, L.B. "Total Pressure as a Design Tool." Heating/Piping/Air Conditioning, vol. 50.8 (August 1978): 89-91.

Vincent, J. "College Park: Energy Conservation Equals Lower Operating Costs." Energy Management Canada (September-October 1983): 10-11.

Wiss, J.W. "Financing Energy Efficient Improvements." Heating/Piping/Air Conditioning, vol. 54.9 (September 1982): 65-73.